



**Universidade de  
Aveiro**  
2014/2015

Departamento de Engenharia Civil

**Daniela Alexandra  
Batista Pinto**

**EFICIÊNCIA DE TÉCNICAS DE REPARAÇÃO  
DE FISSURAS: ENSAIOS EXPERIMENTAIS**





**Universidade de  
Aveiro**  
2014/2015

Departamento de Engenharia Civil

**Daniela Alexandra  
Batista Pinto**

## **EFICIÊNCIA DE TÉCNICAS DE REPARAÇÃO DE FISSURAS: ENSAIOS EXPERIMENTAIS**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizado sob a orientação científica do Professor Doutor Romeu da Silva Vicente, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, coorientação do Professor Doutor Humberto Salazar Amorim Varum, Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e do Professor Doutor José António Raimundo Mendes da Silva, Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra.



Dedico este trabalho aos meus pais, irmã e namorado pelo incansável apoio.



## **o júri**

presidente

**Prof. Doutora Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa**  
Professora Associada do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

**Doutor Tiago Miguel dos Santos Ferreira**  
Investigador do Instituto Pedro Nunes

**Professor Doutor Romeu da Silva Vicente**  
Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro





## **agradecimentos**

Deixo as minhas palavras de gratidão:

Ao meu orientador, Professor Doutor Romeu Vicente, pela ajuda e orientação que deu no desenvolvimento do presente estudo.

Aos meus coorientadores Professor Doutor José Silva e Professor Doutor Humberto Varum pelos documentos fornecidos.

Ao meu colega Engenheiro Jorge Fonseca e toda a equipa do laboratório, Vítor Fonseca e Engenheira Maria Carlos, pelo apoio durante a elaboração dos provetes e decorrer do ensaio experimental.

À empresa SIKA, por ter fornecido as argamassas, à Cerâmica das Quintãs pelo fornecimento dos tijolos e às demais empresas pela elaboração e alteração dos mecanismos metálicos de tração.

Ao meu colega de trabalho e amigo, Engenheiro Manuel Vieira, por todo o apoio, dedicação, orientação e amizade que me proporcionou durante estes meses de trabalho conjunto e principalmente por me incentivar, acreditar em mim e ajudar a ultrapassar todos os obstáculos sem nunca me abandonar.

Finalmente, à minha família e namorado. Aos meus pais, pelos sacrifícios económicos e psicológicos e principalmente por me terem apoiado numa das piores fases da minha vida. À minha irmã, por todo o apoio e garra que me forneceu. À restante família, avós, tios e primos por se preocuparem comigo e por me incentivarem. Ao meu namorado, por me apoiar nos bons e maus momentos e estar sempre presente na minha vida.



**palavras-chave**

Reabilitação de edifícios, fissuração, paredes de alvenaria, técnica de reparação de fissuras em “ponte”

**resumo**

A fissuração é uma patologia constante na alvenaria e deve a sua causa, entre vários fatores, a faltas de projeto de pormenores e ao défice de mão-de-obra especializada.

Com o estudo presente nesta dissertação pretende-se abordar a fissuração, as suas causas e consequências e a reabilitação de alvenarias fissuradas.

Este estudo recai principalmente na reabilitação de fissuras através da técnica de reparação em “ponte” e para tal foi elaborado um trabalho experimental de modo a verificar duas variáveis desta reabilitação e a descartar algumas soluções encontrando outras mais viáveis quer física, quer economicamente.

No término deste trabalho e após análise dos resultados da atividade experimental, retiram-se informações úteis para trabalhos posteriores e são fornecidas sugestões, contribuindo deste modo para o estudo de uma técnica pouco documentada.



**keywords**

Buildings rehabilitation, cracking, masonry walls

**abstract**

Cracking is a constant condition in masonry and owes its cause, among several factors, is due to a lack of detailed projects and a deficit of skilled labor.

The study presented in this thesis intends to address the cracking, its causes and consequences and the rehabilitation of cracked masonry.

The study falls mainly in the rehabilitation of cracks through the "bridge" technique. For this purpose, an experimental setup was designed to verify two variables of this type of rehabilitation and to discard some solutions finding others more viable either physically or economically.

At the end of the study and after analyzing the results of the experimental activity, useful information for further work and advice is provided, contributing this way to the study of a poorly documented technique.



## Índice

Índice .....	i
Índice de Figuras .....	iii
Índice de Tabelas .....	v
Capítulo 1 - Considerações Iniciais .....	1
1.1. Enquadramento .....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Estrutura da Dissertação .....	3
Capítulo 2 - Fissuração em Paredes de Alvenaria Não Estrutural .....	5
2.1. Generalidades .....	5
2.2. Causas e Consequências da Fissuração .....	6
2.2.1. Causas .....	6
2.2.2. Consequências .....	7
2.3. Classificação e Caracterização de fissuras .....	8
2.3.1. Fissuração devido a movimentos da fundação .....	9
2.3.2. Fissuração devido à ação de cargas externas .....	11
2.3.3. Fissuração devido à deformação excessiva do suporte .....	12
2.3.4. Fissuração devido a variações de temperatura .....	13
2.3.5. Fissuração devido à ação da humidade.....	14
2.3.6. Fissuração devida à ação do gelo .....	15
2.3.7. Fissuração devido a ataques químicos.....	16
2.3.8. Outros casos de fissuração.....	17
Capítulo 3 - Técnicas de Reabilitação de Paredes Fissuradas .....	19
3.1. Generalidades .....	19
3.2. Estratégias de Reabilitação de Patologias Não Estruturais .....	19
3.2.1. Enquadramento .....	19
3.2.2. Eliminação das anomalias .....	20
3.2.3. Substituição dos elementos e materiais afetados .....	20
3.2.4. Ocultação das anomalias .....	20
3.2.5. Proteção contra agentes agressivos.....	21
3.2.6. Eliminação das causas das anomalias.....	21
3.2.7. Reforço das características funcionais .....	21
3.3. Estratégias de Reabilitação de Paredes Fissuradas.....	21
3.3.1. Reparação de fissuras em função da sua causa.....	21
3.3.2. Reparação de fissuras que envolvam perda de estanquidade das paredes...	23
3.4. Técnica de Reparação de Fissuras em “Ponte” .....	24
3.4.1. Descrição geral .....	24
3.4.2. Aplicação e condicionantes .....	25
3.4.3. Precauções na reabilitação de fissuras em “ponte” .....	25
Capítulo 4 - Análise Experimental .....	27

4.1.	Enquadramento e Objetivos da Atividade Experimental .....	27
4.2.	Seleção e Caracterização dos Materiais .....	28
4.2.1.	Seleção dos materiais.....	28
4.2.2.	Caraterização dos materiais .....	30
4.3.	Preparação dos Provetes e Anomalias Observadas .....	40
4.3.1.	Preparação dos provetes com reparação numa das faces .....	40
4.3.2.	Preparação dos provetes com reparação nas duas faces .....	42
4.3.3.	Anomalias observadas .....	47
4.4.	Descrição dos ensaios .....	48
4.4.1.	Preparação dos ensaios à tração.....	48
4.4.2.	Descrição dos ensaios à compressão .....	52
4.4.3.	Instrumentação.....	56
4.5.	Síntese dos Resultados .....	59
4.5.1.	Resultados Globais .....	59
4.5.2.	Resultados individuais.....	61
4.5.3.	Nota Conclusiva .....	75
Capítulo 5 -	Considerações Finais .....	77
5.1.	Síntese Geral.....	77
5.2.	Conclusão e Cumprimento dos Objetivos .....	77
5.3.	Perspetivas e Advertências para trabalhos futuros .....	78
	Referências bibliográficas .....	81



## Índice de Figuras

Figura 1 – Principais exigências aplicáveis às paredes de alvenaria (Sousa, 2002).....	8
Figura 2 – Tipos de fundação que influenciam os movimentos diferenciais da fundação (Silva, 1998) .....	10
Figura 3 – Movimentos da fundação devido à variação do teor de humidade (Silva, 1998) .....	10
Figura 4 – Fissuração de alvenarias devido à atuação de cargas uniformemente distribuídas (Póvoa, 2012) .....	11
Figura 5 – Fissuração de alvenarias devido à atuação de cargas concentradas ou aberturas na alvenaria (Póvoa, 2012) .....	12
Figura 6 – Fissuração na alvenaria devido à deformação do suporte (Silva, 1998).....	13
Figura 7 – Fissuração em alvenaria devido a movimentos de expansão e contração da própria parede (Silva, 1998) .....	14
Figura 8 – Tipos de degradação e fissuração do tijolo devido à ação do gelo (Silva, 1998) .....	16
Figura 9 – Esquematização da técnica de reabilitação de fissuras em “ponte” (Vieira, 2014) .....	24
Figura 10 – Tijolos utilizados na constituição dos provetes.....	28
Figura 11 – Materiais utilizados na atividade experimental.....	29
Figura 12 – Moldes utilizados durante a preparação dos provetes.....	30
Figura 13 – Ensaio à compressão dos tijolos.....	31
Figura 14 – Ensaio para determinar o teor de solúveis.....	33
Figura 15 – Difratómetro de raios-X presente no Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro .....	34
Figura 16 – Moinho existente no Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro .....	35
Figura 17 – Difratograma do pó do tijolo cozido utilizado na atividade experimental .....	35
Figura 18 – Espectrómetro de fluorescência de raios-X presente no Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.....	36
Figura 19 – Preparação da argamassa.....	39
Figura 20 – Preparação dos provetes com reparação numa das faces .....	41
Figura 21 – Esquema dos provetes com reparação numa das faces .....	42
Figura 22 – Corte dos tijolos para a reparação das duas faces .....	42
Figura 23 – Preparação dos provetes com reparação nas duas faces.....	45
Figura 24 – Esquema dos provetes com reparação nas duas faces.....	46
Figura 25 – Reparação de um canto da argamassa após o descolamento da mesma .....	47
Figura 26 – Descolamento da reparação do tijolo .....	48
Figura 27 – Rotura do tijolo devido ao cabo de tração (Oliveira, 2012).....	49
Figura 28 – Esquema do mecanismo metálico de tração.....	49
Figura 29 – Esquema do molde utilizado para ancorar e selar as bainhas nos provetes .....	50
Figura 30 – Provetes para ensaios à tração .....	51
Figura 31 – Esquema do ensaio à tração .....	52
Figura 32 – Sistema de ensaio presente no laboratório do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro .....	53
Figura 33 – LVDT's utilizados nos provetes ensaiados à compressão .....	53
Figura 34 – Esquema da colocação dos LVDT's nos provetes .....	54

Figura 35 – Esquema dos ensaios de compressão .....	55
Figura 36 – Ocorrências observadas.....	56
Figura 37 – Representação esquemática de um extensómetro (Valido & Silva, 1997) .....	56
Figura 38 – Extensómetros utilizados na atividade experimental soldados a cabos de ligação.....	57
Figura 39 – Imagem representativa da colocação dos extensómetros nas reparações dos provetes.....	58
Figura 40 – Ilustração do interior de um LVDT em que A é a bobina principal e B são as bobinas secundárias (Wikipédia - LVDT, 2015).....	58
Figura 41 – Colocação dos LVDT's nos provetes.....	59
Figura 42 – Esquema da ocorrência do ensaio .....	61
Figura 43 – Gráficos dos resultados do ensaio .....	62
Figura 44 – Aspeto do provete no fim do ensaio.....	62
Figura 45 – Gráficos dos resultados do ensaio .....	63
Figura 46 – Aspeto do provete no final do ensaio .....	64
Figura 47 – Gráficos dos resultados do ensaio .....	65
Figura 48 – Aspeto do provete no final do ensaio .....	65
Figura 49 – Gráfico dos resultados do ensaio .....	66
Figura 50 – Aspeto do provete no final do ensaio .....	67
Figura 51 – Gráficos dos resultados do ensaio .....	68
Figura 52 – Gráficos dos resultados do ensaio .....	69
Figura 53 – Estado das reparações no fim do ensaio.....	70
Figura 54 – Gráficos dos resultados do ensaio .....	71
Figura 55 – Aspeto das reparações após terem sido ensaiadas.....	71
Figura 56 – Gráficos dos resultados do ensaio .....	72
Figura 57 – Aspeto final da reparação da face de trás do provete.....	73
Figura 58 – Gráficos dos resultados dos ensaios .....	74
Figura 59 – Aspeto da reparação da face da frente após o ensaio .....	74
Figura 60 – Gráficos dos resultados dos ensaios .....	75

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Principais causas de fissuração (Vicente, 2002) .....	6
Tabela 2 – Causas para a fissuração e respetivas reparações (Silva, 1998) .....	23
Tabela 3 – Técnicas de reparação de fissuras que envolvem perda de estanquidade da parede (Oliveira, 2012; Silva, 1998) .....	24
Tabela 4 – Erros correntes na reabilitação de fissuras em “ponte” (Silva, 2002) .....	26
Tabela 5 – Resultados dos ensaios de compressão dos tijolos .....	32
Tabela 6 – Percentagem de solúveis nos tijolos .....	34
Tabela 7 – Composição química dos tijolos da Cerâmica das Quintãs, Aveiro.....	37
Tabela 8 – Quantidades de água e argamassa para cada área de reparação .....	39
Tabela 9 – Designação dos provetes com reparação numa face e respetivas caraterísticas	42
Tabela 10 – Designação dos provetes com reparação nas duas faces e respetivas caraterísticas .....	46
Tabela 11 – Resultados globais do ensaio à compressão .....	60
Tabela 12 – Resultados do ensaio do provete 1-L3-R1-C1 .....	61
Tabela 13 – Resultados do ensaio do provete 1-L3-R2-C1 .....	63
Tabela 14 – Resultados do ensaio do provete L1-R1-C2 .....	64
Tabela 15 – Resultados do ensaio do provete L1-R2-C2 .....	65
Tabela 16 – Resultados do ensaio do provete L2-R1-C2 .....	67
Tabela 17 – Resultados do ensaio do provete L2-R2-C2 .....	68
Tabela 18 – Resultados do ensaio do provete L3-R1-C1 .....	70
Tabela 19 – Resultados do ensaio do provete L3-R1-C2 .....	72
Tabela 20 – Resultados do ensaio do provete L3-R2-C1 .....	73
Tabela 21 – Resultados do ensaio do provete L3-R2-C2 .....	75



## **Capítulo 1 - Considerações Iniciais**

### **1.1. Enquadramento**

O conceito de alvenaria, segundo o Dicionário da Língua Portuguesa (Costa & Melo, 1999), traduz a “associação de pedras, que ligadas por argamassa, formam uma construção”. Não obstante, o conceito de alvenaria é mais profundo e, cientificamente, as alvenarias, que podem ser de vedação ou compartimentação, são todas as associações de pedra que se destinam a fechar o envelope da edificação e a compartimentar espaços, preenchendo os vãos da estrutura resistente, por mais diversos que sejam os materiais utilizados: taipa, pedra, adobe, tijolo, betão armado, estrutura metálica, entre outros.

Na realização das alvenarias mais recentes são utilizados blocos de produção industrial garantindo deste modo a uniformidade e controlo da geometria, composição, cor e outras características pré-definidas. O material mais utilizado na alvenaria portuguesa é o tijolo de barro vermelho furado cozido, ainda assim são utilizados outros materiais, embora em menor escala, como adobes ou barro cru, pedra, blocos de argamassa corrente de cimento, blocos de argamassa leve, blocos de betão celular, blocos sílico-calcários, blocos de gesso e por fim, blocos mistos. O material de ligação tradicional é a argamassa hidráulica, cuja composição pode variar devido à diversidade de traços. Porém existem outros materiais de ligação industrializados como os cimentos-cola, as colas, as argamassas sintéticas e as bandas plásticas de ligação (Silva, 1998).

Segundo as normas que regem Portugal e a Europa como um todo, Euro Código 6, são várias as classificações das alvenarias no que respeita à função estrutural, materiais ou em função das ações a que estão sujeitas, contudo a classificação mais importante para este trabalho é a divisão das alvenarias em alvenarias resistentes e alvenarias não-resistentes dado que serão abordadas as alvenarias não-resistentes.

Em Portugal, como em muitos outros países, não existe a tradição da elaboração de projetos para alvenarias não-estruturais, apesar da sua importância estética, económica e funcional. A ausência desse projeto leva a que posteriormente apareçam anomalias que colocam em causa a segurança, conforto e saúde de quem habita a edificação (Póvoa, 2012). As alvenarias, para além de serem a forma construtiva mais antiga desde que o Homem deixou de ser nómada e passou a edificar abrigos permanentes, devem garantir

ainda várias exigências funcionais. Deste modo é necessário que durante a sua construção seja verificada a qualidade dos seus constituintes e sejam respeitadas as normas de construção e as regras da arte (Belgas, 2014). Nos últimos anos tem havido uma maior preocupação com a alvenaria não-estrutural, desenvolvendo-se estudos sobre as principais anomalias e possíveis soluções de reabilitação e prevenção. Contudo a mão-de-obra em Portugal não é suficientemente qualificada para o emprego de novos materiais e técnicas (Silva, 1998; Vicente, 2002).

Uma das anomalias mais problemáticas das alvenarias é a fissuração. É necessário o estudo e desenvolvimento de técnicas de construção que diminuam a ocorrência desta anomalia e o estudo e desenvolvimento de técnicas que possam ser utilizadas para eliminação ou ocultação das fissuras.

Na fase de reabilitação da fissuração e na escolha da melhor solução, devem ser analisadas as causas que originam a fissuração e se estamos perante fissuras estabilizadas ou não. A técnica de reparação de fissuras em “ponte” é uma das técnicas de reabilitação mais utilizadas atualmente, apesar de estar ainda pouco documentada e estudada e da sua aplicação em obra depender da intuição do responsável da obra e do operário (Oliveira, 2012).

(Póvoa, 2012), (Oliveira, 2012) e (Duarte, 2013) são documentos académicos que contêm um estudo sobre a reparação em “ponte” de fissuras. Nos três casos foi efetuado um trabalho experimental em que foram avaliadas as influências da largura da banda, largura de reparação e argamassas na reparação de uma fissura através desta técnica. Ainda assim, o estudo desta técnica não está concluído, sendo necessário testar outras vertentes e comparar soluções, custos e dimensionamento.

## **1.2. Objetivos**

A presente dissertação, realizada no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, tem como objetivo geral o estudo da fissuração nas paredes de alvenaria, tendo como premissa o estudo prévio das causas do aparecimento de fissuras, métodos de prevenção de fissuração e principalmente as várias técnicas de reparação e reabilitação de alvenarias fissuradas.

É evidenciada e estudada a técnica de reparação em “ponte” da fissuração de alvenaria através de bibliografia de alguns dos investigadores portugueses com trabalho meritório nesta área e de investigadores estrangeiros.

Na fase experimental do trabalho inerente a esta dissertação será abordada exclusivamente a técnica de reparação em “ponte” através de ensaios experimentais, tendo como base, não as dissertações sobre o mesmo tema desenvolvidos anteriormente na Universidade de Coimbra (Duarte, 2013; Oliveira, 2012; Póvoa, 2012), mas a aplicação da técnica utilizando métodos/detalhes diferentes de execução dos ensaios, para efeitos de comparação.

Para atingir os objetivos e para comparação de resultados serão realizados ensaios à compressão, observando-se o comportamento da reparação dos provetes. As variáveis escolhidas para este trabalho são as armaduras em malhas de fibra de vidro de densidade 110g/m<sup>2</sup> e 160g/m<sup>2</sup> e a largura de reparação (100 mm, 120 mm e 150 mm).

Porque esta investigação teria de ser muito mais aprofundada, o que não caberia no contexto de um MIEC, pretende-se que na conclusão da dissertação se encontre, dentro das variáveis selecionadas e através da comparação destes fatores, a solução técnica e virtualmente mais económica que dê a melhor reparação de fissuras não estabilizadas.

### **1.3. Estrutura da Dissertação**

A presente dissertação encontra-se estruturada em cinco capítulos, divididos também em vários subcapítulos, que se destinam a apresentar, analisar e discutir o tema e aborda ainda a atividade experimental realizada, bem como os resultados obtidos.

No presente capítulo é apresentado sucintamente o tema desenvolvido ao longo da dissertação, os objetivos da tese e a estrutura da mesma.

O capítulo dois enfoca a fissuração e o seu impacto na alvenaria, descrevendo os diversos tipos de fissuração, as suas causas e consequências. Existe ainda uma classificação e caracterização desses tipos de fissuração. Deste modo é dada a introdução ao tema da dissertação.

No terceiro capítulo é apresentado o conceito de reabilitação de fissuras na sua generalidade e são expostas estratégias de reabilitação para manifestações patológicas não estruturais em paredes fissuradas. É ainda introduzida a técnica de reparação em “ponte”,

na qual esta dissertação mais se direciona e através da qual se desenvolveu o trabalho experimental.

O quarto capítulo baseia-se na atividade experimental realizada. Introduzido pelo enquadramento e objetivos da citada atividade, o capítulo é desenvolvido com a seleção e caracterização dos materiais utilizados em toda a atividade, a preparação dos provetes a ensaiar e a descrição dos ensaios realizados. Termina o capítulo com uma abordagem geral aos resultados obtidos na campanha laboratorial.

Por último, no quinto capítulo expõem-se as conclusões retiradas da dissertação, principalmente da campanha experimental desenvolvida sendo também aqui apresentadas sugestões e propostas para trabalhos futuros.



## **Capítulo 2 - Fissuração em Paredes de Alvenaria Não Estrutural**

### **2.1. Generalidades**

Uma fissura define-se – segundo José Silva (Silva, 1998) – como “uma descontinuidade física, provocada localmente num elemento construtivo ou material de construção por um processo de rotura, resultante do estado de tensão nele instalado. Esta descontinuidade, ou fenda, tem, em geral, uma direção preferencial de desenvolvimento (segundo a qual se define o seu comprimento) e duas direções secundárias (segundo as quais se define a abertura e a profundidade).”

A fissuração é a linguagem utilizada pelos mais diversos componentes, materiais, estruturas, entre outros, que indica ao utilizador que estes sofreram alterações do seu estado inicial e é a manifestação patológica do que poderá ter ocorrido ou estará ainda em curso num desses como por exemplo nas paredes de alvenaria e na edificação, que é o essencial neste caso específico. A dificuldade encontra-se em entender esta linguagem de modo a encontrar a melhor solução para a reparação da fissuração. Assim, deve-se estudar a fissura até que se encontre a patologia que a está a provocar e, deste modo, cessar o problema reparando o dano e a fissura (Silva, 1998).

As fissuras dividem-se em superficiais e profundas. As primeiras não ultrapassam o reboco da alvenaria e surgem devido ao uso de argamassas inadequadas, aplicação de argamassa sobre superfície suja ou decomposição ativa. As fissuras profundas ocorrem devido a movimentos estruturais e penetram nas paredes podendo ou não atingir os revestimentos e elementos de suporte (Vadstrup, 2004).

No estudo da fissuração deve-se ter em conta aspetos como a largura, direção, textura, profundidade, se a fissura se encontra estável ou se está em evolução, a localização da fissura na estrutura, idade, se a fissura já sofreu algum tipo de reparação ou não, entre outros (Silva & Vicente, 2003). Só depois de observados e avaliados estes aspetos se poderá concluir qual a causa da fissuração e proceder à reparação da mesma e, se possível, da sua causa.

Alguns aspetos devem ser considerados na análise das fissuras de modo a encontrar rapidamente a causa e a melhor solução: geometria da fissura, idade da construção,

sazonalidade e variação das fissuras, manifestações patológicas perto da fissura a estudar e, por último mas não menos importante, alterações do solo na proximidade do edifício onde se encontra a fissura em estudo (Thomaz, 2012).

## 2.2. Causas e Consequências da Fissuração

### 2.2.1. Causas

As paredes de alvenaria apresentam anomalias que se dividem em anomalias devido à humidade, degradação de materiais, alterações face ao projeto e fissurações. Esta última subdivide-se em três grandes grupos: causas de origem física, química e mecânica. Na Tabela 1 encontram-se as diferentes ações que provocam fissuração, agrupadas nestes três grupos (Vicente, 2002):

Causas		
Causas Físicas:	Causas Químicas:	Causas Mecânicas:
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Degradação natural;</li> <li>- Variação da temperatura;</li> <li>- Ação do gelo;</li> <li>- Ação da humidade;</li> <li>- Ação do fogo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hidratação retardada da cal;</li> <li>- Expansão irreversível do tijolo;</li> <li>- Ação dos sulfatos;</li> <li>- Retração da argamassa;</li> <li>- Corrosão e oxidação.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cargas externas e localizadas;</li> <li>- Grampeamento deficiente;</li> <li>- Apoio insuficiente;</li> <li>- Deformação do suporte;</li> <li>- Vibrações;</li> <li>- Esbelteza e encurvadura excessiva;</li> <li>- Aberturas;</li> <li>- Movimentos de fundação;</li> <li>- Impactos fortuitos;</li> <li>- Ações acidentais.</li> </ul>

Tabela 1 - Principais causas de fissuração (Vicente, 2002)

O CIB - Conseil International du Bâtiment (International Council of Research and Innovation in Building and Construction) - refere que a origem das anomalias na construção está no défice de conhecimento de técnicas da mão-de-obra, nas falhas de comunicação entre os vários intervenientes no processo da construção e na má escolha e aplicação de materiais (Silva, 1998).

Existem outras causas que levam ao aparecimento de fissuras, principalmente em paredes de fachadas, tais como: apoio reduzido do pano exterior, insuficiente travamento horizontal/vertical das paredes, má escolha do tijolo a utilizar e ausência de dispositivos de ligação das paredes à estrutura, introdução de novos materiais, aligeiramento global das paredes, juntas de dilatação inadequadas, aplicação inadequada de revestimentos cerâmicos, execução de peitoris com geometria e materiais inadequados (Silva & Abrantes, 2007; Silva & Carvalhal, 2003). Estas causas provocam vários tipos de fissuração: fissuração vertical ao longo dos cunhais, fissuração horizontal ao nível das lajes, fissuração no contorno dos vãos, fissuração nas ombreiras, instabilidade global e rotura por corte (Silva & Carvalhal, 2003; Silva & Vicente, 2004; Vicente, 2005).

Ercio Thomaz (Thomaz, 1989) refere ainda um estudo elaborado na Bélgica pelo Centre Scientifique et Technique de la Construction, pelo qual se conclui que a fissuração se deve principalmente a falhas de projeto (46%), falhas de execução (22%) e qualidade inadequada dos materiais de construção empregues (15%), sendo que 17% são outras causas.

### **2.2.2. Consequências**

Como já foi referido anteriormente, as fissuras indicam que algo está errado na edificação e pode ser um presságio de problemas futuros e/ou de agravamento de anomalias já existentes.

O aparecimento de fissuras numa alvenaria significa que esta deixou de dar resposta a algumas exigências que lhe foram atribuídas, exigências essas explicitadas na Figura 1 (Sousa, 2002).








<b>Estabilidade</b>	
<b>Segurança ao fogo</b>	
<b>Estanquidade à água e ao ar</b>	
<b>Conforto térmico e acústico</b>	
<b>Durabilidade e facilidade de manutenção</b>	
<b>Economia / Facilidade de execução</b>	
<b>Estética</b>	

Figura 1 – Principais exigências aplicáveis às paredes de alvenaria (Sousa, 2002)

A fissuração causa, logo de início, constrangimentos psicológicos sobre os habitantes: desconforto visual, insalubridade e sensação de falta de segurança (Silva & Carvalho, 2003). Para além destes constrangimentos, existem ainda algumas consequências inerentes à fissuração: infiltrações de água e ar, humedificação, arrefecimento dos compartimentos, degradação de revestimentos, desenvolvimento de fungos, bolores e micro-organismos, redução da resistência ao fogo (Silva, 1998; Thomaz, 1989).

### 2.3. Classificação e Caracterização de fissuras

Existem diferentes tipos de classificação das fissuras, dependendo sobretudo do autor e do ano da publicação. Existe uma classificação das fissuras relativamente às suas aberturas, às suas direções e aos seus movimentos (estabilizadas, não estabilizadas) (Oliveira, 2012). Contudo, como é necessário saber as causas das fissurações de modo a conseguir preveni-las e repará-las, esta dissertação aborda a classificação das fissuras de acordo com as suas causas, que serão desenvolvidas posteriormente:

- Fissuração devido a movimentos da fundação;

- Fissuração devido à ação de cargas externas;
- Fissuração devido à deformação excessiva do suporte;
- Fissuração devido às variações de temperatura;
- Fissuração devido à ação da humidade;
- Fissuração devido à ação do gelo;
- Fissuração devido a ataques químicos;
- Outros casos de fissuração.

### **2.3.1. Fissuração devido a movimentos da fundação**

A fissuração devida ao movimento das fundações pode ocorrer por causas diversas, que podem ou não comprometer a estabilidade da edificação. Durante a elaboração do projeto de estabilidade devem ser tomadas as devidas precauções no sentido de se verificar o ou os tipos de solo existentes na área de construção e avaliadas as suas capacidades de carga, com o intuito de avaliar qual o tipo de fundação a conceber. Porém tal verificação não ocorre na construção vulgar, bem como o estudo das eventuais deformações da estrutura resistente face às cargas normais. São muitas as ações que podem provocar tensões na edificação, cujas anomalias se visualizam através das fissuras que muitas vezes não comprometem a estabilidade geral da construção, contudo deveriam ser obrigatoriamente analisadas bem como as suas causas, para avaliar se são de cariz estabilizado ou não-estabilizado e tomar as providências inerentes a cada tipo.

Quando as ações são bruscas e localizadas numa só zona do edifício, os elementos mais frágeis sofrem danos, nomeadamente fissuração (Silva, 1998). As fissuras que ocorrem devido a movimentos de fundação são inclinadas, segundo a direção onde ocorreu o assentamento, e a abertura pode variar consoante a força de assentamento, sendo que quanto mais brusco for o movimento maior será a abertura (Duarte, 2013; Silva, 1998). É essencial prever estes possíveis danos para, ainda na fase de projeto, se tomarem medidas, tais como a minimização dos movimentos do solo, favorecimento das fundações e atenuação dos movimentos que poderão ser transmitidos pela estrutura e fundação aos elementos construtivos mais vulneráveis, de modo a evitá-los (Silva, 1998).

De modo a evitar a fissuração devido a movimentos da fundação, a deformabilidade dos solos e a sua capacidade de carga devem ser avaliados pois estes fatores variam consoante

as seguintes características, algumas ilustradas nas Figuras 2 e 3 (Póvoa, 2012; Silva, 1998; Thomaz, 1989):

- Tipo, estado e características do solo;
- Tipo de fundação, dimensão, formato e cota de apoio;
- Distribuição deficiente das cargas;
- Intensidade das cargas;
- Solo não regular (existência de cavernas e grutas) ou heterogêneo;
- Consolidação de aterros;
- Expansão ou empolamento do solo devido a descompressões ou ataques químicos;
- Congelamento da camada superficial do solo;
- Altura do lençol freático;
- Variação do teor de humidade;
- Interferência de fundações vizinhas e construção de muros de suporte;
- Causas externas ao edifício.

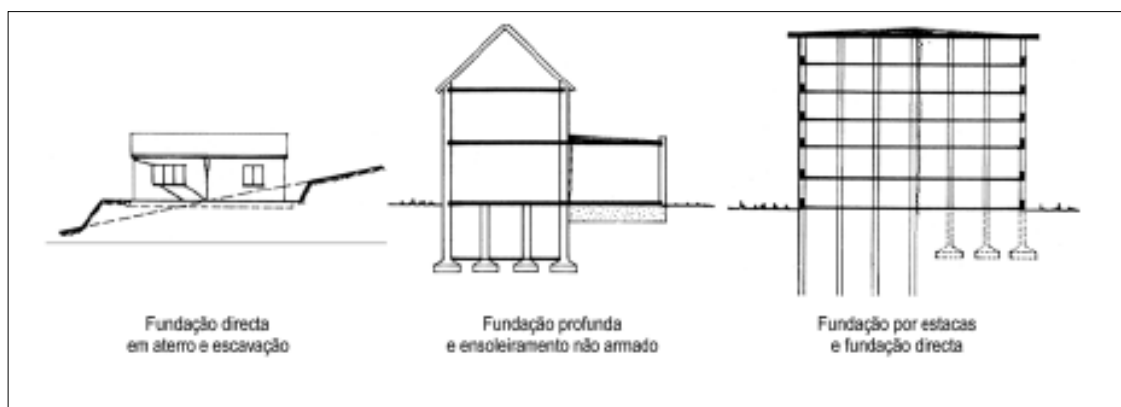


Figura 2 – Tipos de fundação que influenciam os movimentos diferenciais da fundação (Silva, 1998)

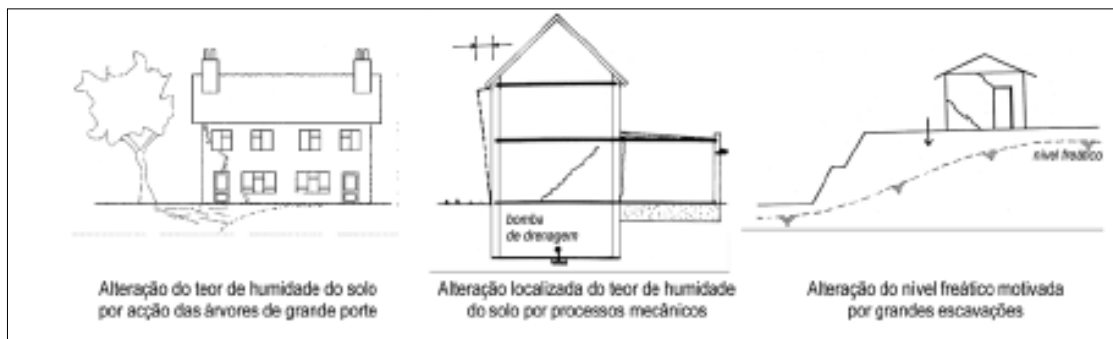


Figura 3 – Movimentos da fundação devido à variação do teor de humidade (Silva, 1998)

### 2.3.2. Fissuração devido à ação de cargas externas

Nos últimos anos houve um crescimento e moda arquitetônica de grandes vãos e esbelteza das estruturas. Sendo os elementos da estrutura mais esbeltos, as cargas que estes suportam são as mesmas de uma estrutura menos esbelta e com menos vãos, logo as tensões que as cargas ocasionam são inevitavelmente maiores. A distribuição da carga pode ocorrer para as paredes de alvenaria e estas deixam de ter uma função meramente estética e de “fechamento” da estrutura, para ter uma função estrutural, sem que esta conste e tenha sido estudada no projeto. Algumas vezes a carga pode ser considerada durante o projeto, contudo se a parede fissurar deve-se a falhas na execução da peça ou erro no cálculo estrutural (Thomaz, 1989). Deste modo, como as paredes são sujeitas a carga superior que conseguem suportar, ocorre fissuração.

Algumas das causas para a fissuração devido à ação de cargas externas são (Silva, 1998):

- Viga que atravessa transversalmente uma parede transmitindo a esta uma carga elevada e localizada;
- Aplicação de cargas excêntricas e elevadas ao mobilar o edifício;
- Lintel sobre vão com apoios de dimensão reduzida;
- Lintel sobre vão com insuficiente rigidez;
- Reduções localizadas da secção da parede.

Segundo Thomaz, (Thomaz, 1989), existem dois tipos de fissuração proveniente da ação de cargas externas: fissuras verticais, provocadas pela deformação transversal da argamassa, ou da flexão localizada de elementos da alvenaria, e fissuração horizontal, provocadas pela rotura da alvenaria ou da argamassa por compressão ou devido a solicitações de flexo-compressão da parede. As Figuras 4 e 5 ilustram a fissuração devido à ação de cargas distribuídas e concentradas e devido à existência de aberturas na alvenaria.



Figura 4 – Fissuração de alvenarias devido à atuação de cargas uniformemente distribuídas (Póvoa, 2012)



Figura 5 – Fissuração de alvenarias devido à atuação de cargas concentradas ou aberturas na alvenaria (Póvoa, 2012)

### 2.3.3. Fissuração devido à deformação excessiva do suporte

É importante, na fase de projeto, estudar todos os fenômenos possíveis de ocorrer, mesmo em elementos não estruturais. Deste modo, (Silva, 1998) indica algumas tarefas a ter em conta na fase de projeto para prevenir possíveis danos, principalmente nas alvenarias:

- Cálculo da amplitude e tipo de deformação do elemento estrutural;
- Estabelecimento de um máximo de fissuração aceitável na alvenaria;
- Cálculo da resistência das paredes e as suas ligações;
- Determinação dos esforços causados na alvenaria pela deformação dos elementos de suporte.

Na fase de construção também devem ser tidas em conta algumas medidas que previnem este tipo de fissuração, tais como a construção das paredes do andar superior para o inferior ou alternada ou a construção das paredes em pisos sucessivos com exceção das últimas fiadas de cada parede. A Figura 6 ilustra os diferentes desenhos das fissuras que podem ocorrer devido à deformação do suporte.

De todos os elementos estruturais, as consolas são as que merecem uma maior atenção da parte do projetista, pois existe uma grande ocorrência de fissuração das paredes nelas apoiadas, o que coloca em causa a estanquidade e estabilidade da própria consola (Vicente, 2002).



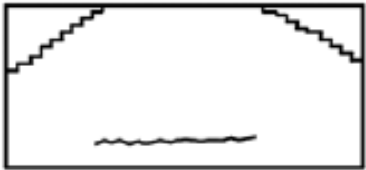
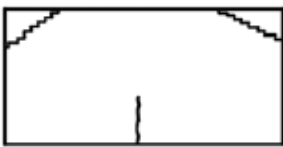
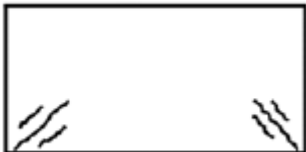
<p>a)</p> 	<p>a) O pavimento inferior deforma-se mais que o pavimento superior, logo ocorre transferência de cargas para as extremidades do apoio formando um arco de tensões. Tal acontecimento provoca fissuras diagonais nos cantos superiores e fissuras horizontais nas primeiras juntas de assentamento;</p>
<p>b)</p> 	<p>b) O pavimento superior deforma-se mais que o pavimento inferior, o que provoca uma fissura análoga à de uma viga em flexão (Silva, 1998);</p>
<p>c)</p> 	<p>c) As deformações nos dois pavimentos são semelhantes, logo as fissuras aparecem nos cantos inferiores da alvenaria, a partir dos apoios, com uma configuração oblíqua de cerca de 45° (Póvoa, 2012).</p>

Figura 6 – Fissuração na alvenaria devido à deformação do suporte (Silva, 1998)

#### 2.3.4. Fissuração devido a variações de temperatura

As paredes de alvenaria estão expostas durante todo o ano a diferentes variações de temperatura. Estas variações ocorrem devido ao clima, hora do dia e sazonalidade. O efeito da temperatura nas paredes de alvenaria é ainda influenciado pelo vento, pela radiação solar a que esta está sujeita, entre outras. O lado da casa a que os elementos pertencem, a sua proteção contra as intempéries e radiação solar e os materiais de que são feitos influenciam também o comportamento das paredes.

Existem fissuras, denominadas de fissuras cíclicas, que expandem ou contraem consoante a temperatura a que estão sujeitas, funcionando deste modo como uma junta de dilatação, acabando até por ter um comportamento positivo na alvenaria (Silva, 1998).

Existem vários fatores que conduzem à fissuração devido a movimentações térmicas e, segundo (Thomaz, 1989), as principais movimentações diferenciadas são a junção de vários materiais cujos coeficientes de dilatação são diferentes para uma mesma temperatura, a elevada exposição solar de alguns elementos e o gradiente de temperatura ao longo do mesmo componente. A cobertura também tem impacto nas alvenarias, pois é

dos elementos estruturais que mais sofre alterações de volume devido às variações de temperatura, causando deformações nos elementos estruturais em que se apoia e consequentemente às alvenarias da estrutura, causando fissuração das mesmas (Silva, 1998).

Vários são os tipos de fissuração que podem ocorrer devido aos movimentos estruturais ou aos próprios movimentos da alvenaria provocados pela variação de temperatura, sendo os mais importantes a fissuração da ligação entre as alvenarias e os pórticos ou da ligação das alvenarias a outros elementos estruturais e o esmagamento de revestimentos, apoios e juntas (Silva, 1998).

Podem e devem ser adotadas algumas medidas, tais como a diminuição do efeito das ações térmicas, aumento do grau de liberdade dos vários elementos construtivos, aumento da resistência mecânica dos materiais e das suas ligações, colocação de juntas de dilatação em grandes vãos e utilização de isolamento térmico, com o fim de reduzir o risco de fissuração (Silva, 1998).

Na Figura 7 são ilustrados possíveis tipos de fissuração por expansão ou contração em função da resistência dos materiais ou da inexistência de juntas de dilatação.

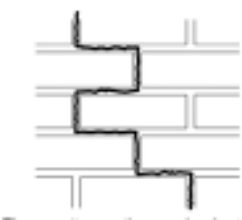
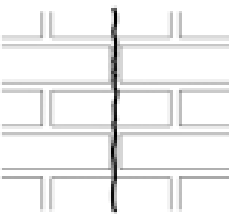

		
Fissuração pelas juntas de argamassa;	Fissuração trespassante;	Fissuração localizada.

Figura 7 – Fissuração em alvenaria devido a movimentos de expansão e contração da própria parede (Silva, 1998)

### 2.3.5. Fissuração devido à ação da humidade

A humidade que se apresenta nas alvenarias é proveniente de vários meios e está na origem de imensas anomalias e deteriorações de edifícios. Alguns problemas de fissuração devido à humidade acontecem face aos movimentos higroscópicos dos materiais de construção, à retração da argamassa, à expansão irreversível do tijolo, à retração do betão, aos ataques químicos e ao gelo (Silva, 1998).

Existem quatro tipos de humidade: humidade da produção dos elementos, de execução da obra, do ambiente e fenómenos meteorológicos e do solo, que é absorvida dependendo da porosidade e capilaridade dos materiais de construção (Thomaz, 1989). Por oportuno, no caso de construção com ritmos desajustados, coloca-se o problema da humidade intrínseca dos próprios materiais e compostos (água de amassamento das argamassas e a constituinte do betão fresco, por exemplo), que na maioria dos casos é ignorado, sendo que esta água é muito difícil e morosa de evaporar totalmente.

Pfeffermann – segundo (Silva, 1998) – sugere algumas medidas preventivas para a ação da humidade: cuidados na conceção e projeto e cuidados antes, durante e depois da obra. Existem ainda outras precauções que devem ser adotadas para evitar a ação da humidade na obra e nos materiais: armazenamento dos materiais em zona seca e abrigada, evitar o humedecimento excessivo dos tijolos durante a construção, uso de materiais isolantes e secagem das paredes antes da colocação de revestimentos.

#### **2.3.6. Fissuração devida à ação do gelo**

A fissuração devido à ação do gelo ocorre essencialmente em materiais porosos, nomeadamente nos tijolos, tal como ilustra a Figura 8, pois estes têm uma grande capacidade de absorção de água que solidificará provocando tensões nesse material levando-o à fissuração. A ação do gelo pode manifestar-se através da fissuração e enfraquecimento das argamassas e ao longo de toda a vida do edifício.

Devem ser prevenidas as degradações do tijolo através de uma escolha adequada dos elementos cerâmicos a utilizar e de medidas de proteção de paredes contra a ação da água (Silva, 1998).

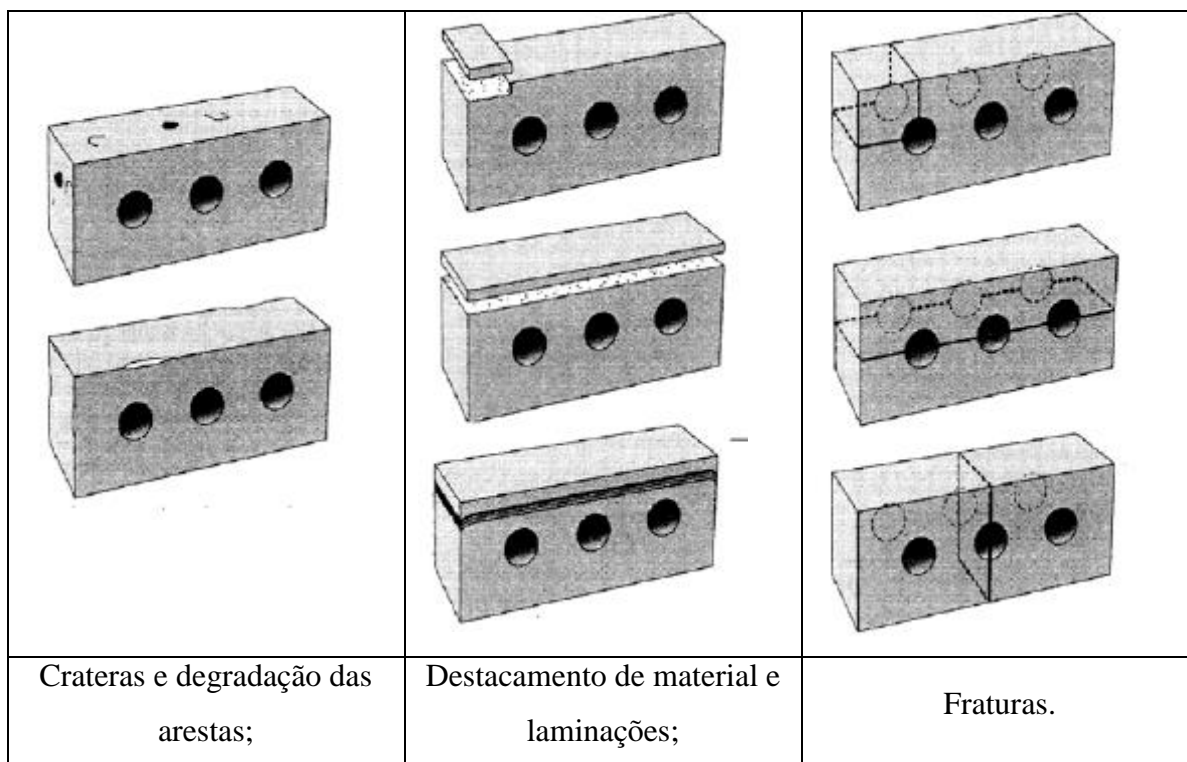


Figura 8 – Tipos de degradação e fissuração do tijolo devido à ação do gelo (Silva, 1998)

### 2.3.7. Fissuração devido a ataques químicos

Os ataques químicos apresentam um efeito nefasto nas construções e são um grande fenómeno de degradação física dos elementos construtivos. Os efeitos variam de edifício para edifício, da sua localização geográfica e da sua utilização. Os edifícios mais degradados a nível físico por ataques químicos são edifícios junto a orlas marítimas, edifícios em zonas extremamente poluídas e edifícios onde ocorrem atividades industriais que manipulam matéria que utiliza/liberta químicos prejudiciais aos elementos de construção.

Um dos casos mais graves de fissuração devido a ataques químicos tem origem na corrosão das armaduras: a permeabilidade, o grau de carbonatação do betão, a composição química do aço, a humidade do ar e a heterogeneidade do betão e do recobrimento das armaduras são fatores que influenciam o bem-estar da estrutura (Silva, 1998). Acima de tudo, devem ser garantidos recobrimentos das armaduras mínimos que não influenciem a entrada da água no betão até atingir as armaduras.

Segundo (Thomaz, 1989), a fissuração devido a ataques químicos não se deve só à corrosão das armaduras, mas também ao ataque por sulfatos e a hidratação retardada de cales. Um problema que ainda assim ocorre é o teor de solúveis existente em alguns tijolos

cozidos que pode chegar a 4% e que, de alguma forma sujeitos à humidade, pode acarretar reações químicas.

### **2.3.8. Outros casos de fissuração**

Existem ainda outros casos de fissuração das alvenarias, contudo as suas causas ou as suas ocorrências não são significativas o suficiente de tal modo a receberem um só subcapítulo para elas. Algumas dessas causas são:

- Ações acidentais, tais como a ação do fogo e a ação sísmica;
- Retração da argamassa;
- Expansão irreversível do tijolo;
- Envelhecimento e degradação natural do edifício;
- Ausência de projeto de alvenarias.



## **Capítulo 3 - Técnicas de Reabilitação de Paredes Fissuradas**

### **3.1. Generalidades**

A reabilitação define-se como qualquer ação que assegure a preservação e salvaguarda de uma edificação para o seu futuro, contudo não se considera reabilitação a demolição do interior de um edifício ou a manutenção das fachadas (Duarte, 2013).

A fissuração é a anomalia mais recorrente, contudo a sua reparação e técnicas carecem de fundamentos científicos e projetos de reparação. Para a reparação ser correta, deve existir uma avaliação prévia da fissura onde são avaliados fatores como o grau de estabilização, o tipo de causas, a distribuição da fissura e a sua abertura (Silva, 1998).

Um bom diagnóstico e um bom projeto de reparação evitam a repetição da manifestação patológica que é o fenómeno de reaparecimento da fissura (Oliveira, 2012).

Neste capítulo serão abordados temas como estratégias de reabilitação de patologias, estratégias de reabilitação de paredes e técnicas de reparação de fissuras dando-se ênfase à reparação de fissuras em “ponte”.

### **3.2. Estratégias de Reabilitação de Patologias Não Estruturais**

#### **3.2.1. Enquadramento**

Segundo vários autores, (Duarte, 2013; Oliveira, 2012; Silva, 1998), baseados em Vasconcelos Paiva (Vasconcelos, 1985), existem algumas atitudes técnicas para reabilitação das anomalias:

- Eliminação das anomalias;
- Substituição dos elementos e materiais afetados;
- Ocultação das anomalias;
- Proteção contra agentes agressivos;
- Eliminação das causas das anomalias;
- Reforço das características funcionais.

Contudo a solução anteriormente apresentada não é estanque pois algumas soluções e intervenções podem pertencer a várias classificações, principalmente quando existe mais do que uma causa para as anomalias.

### **3.2.2. Eliminação das anomalias**

A eliminação das anomalias constatadas não significa que se sanaram as suas causas, ou seja, as fissuras poderão voltar a surgir. As fissuras estabilizadas podem ser facilmente reparadas com a aplicação de selantes elásticos e uma mera pintura decorativa, contudo tal não acontece com as fissuras não-estabilizadas que merecem uma maior atenção e um procedimento mais complexo, chamado de reabilitação em “ponte” que será retratado mais à frente nesta dissertação (Silva & Abrantes, 2007; Silva, 1998).

### **3.2.3. Substituição dos elementos e materiais afetados**

A substituição dos elementos é a solução mais radical e onerosa, ocorrendo quando a fissuração existente é generalizada e a estabilidade da parede é afetada, estando a substituição dos elementos/materiais restrita a uma pequena área. Quando a fissuração ocorre somente nos revestimentos, apenas estes são retirados e substituídos por uns novos. Todos estes procedimentos só devem ser realizados quando é garantida a estabilização da anomalia e a repetição do fenómeno não surge (Silva, 1998).

### **3.2.4. Ocultação das anomalias**

A ocultação das anomalias é uma solução estética, económica e pode ser ainda definitiva se não comprometer o desempenho funcional do elemento, pois as anomalias são disfarçadas e não são reparadas as causas e as próprias anomalias, solucionando o maior problema que já foi citado, que é o aspeto psicológico do utente. Recorre-se a revestimentos ou elementos construtivos colocados sobre as anomalias para as ocultar, o que pode ser um procedimento prejudicial, pois as anomalias podem piorar e tal facto não ser perceptível.

A ocultação de anomalias é um procedimento que pode ser aplicado a fissuras estabilizadas e não-estabilizadas, sendo que nas primeiras os riscos são menores e não são necessárias tiras de papel a separar (Silva & Abrantes, 2007; Silva, 1998).



### **3.2.5. Proteção contra agentes agressivos**

O procedimento de proteção contra os agentes agressivos não pode nem deve ser confundido com a eliminação das causas, que será explicada mais à frente, contudo pode ser utilizado como uma medida preventiva. O objetivo da proteção dos elementos contra os agentes agressivos baseia-se em impedir que os agentes causadores das anomalias atuem nos elementos já afetados, através de barreiras que separem a fonte das anomalias e os elementos a proteger ou através do reforço das proteções oferecidas pelos próprios elementos (Silva, 1998).

### **3.2.6. Eliminação das causas das anomalias**

A eliminação das causas das anomalias é uma das medidas corretivas mais eficazes, pois acaba com os fatores originários das manifestações. Contudo podem ser intervenções dispendiosas e de grande volume por vezes inoportáveis, sendo necessária a identificação das causas e dos mecanismos que provocam as anomalias (Silva, 1998).

### **3.2.7. Reforço das características funcionais**

O processo de reforço das características funcionais baseia-se na correção dos desajustamentos dos elementos relativamente a algumas exigências de segurança não estrutural, conforto e economia. A desvantagem deste processo é que não é aplicável como correção mas sim como prevenção, logo deve ser estudado na fase de projeto (Silva, 1998).

## **3.3. Estratégias de Reabilitação de Paredes Fissuradas**

### **3.3.1. Reparação de fissuras em função da sua causa**

Depois de terem sido referidas possíveis estratégias de reabilitação de anomalias não estruturais, abordam-se agora técnicas que se aplicam em fissuras de paredes de alvenaria dependendo das causas que as provocam, como mostra a Tabela 2 (Silva, 1998):

Causa	Reparação
Assentamento diferencial das fundações:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reforço ou consolidação das fundações (após estabilização dos movimentos);</li> <li>- Preenchimento da fissura com material elástico, colocação de uma banda de dessolidarização e revestimento armado;</li> <li>- Reconstrução da parede (largura das fissuras muito grande);</li> </ul>
Concentração de cargas externas:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Criar novos apoios para diminuir a tensão na zona fissurada ou distribuir as cargas;</li> <li>- Após atingirem a estabilidade, as fissuras podem ser reparadas por processos de colmatagem corrente;</li> </ul>
Deficiência de apoios:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inserção de chapas de distribuição em aço sob os apoios;</li> <li>- Revestir com armadura a zona de fissuração;</li> </ul>
Variação do teor de humidade:	<p>A técnica de reparação depende do grau de estabilização, largura e localização da fissura:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplicação de novo revestimento e preenchimento das fissuras caso sejam largas (fissuras estabilizadas, finas e distribuídas);</li> <li>- Preenchimento com mástique e colocação de revestimento elástico e armado (fissuras não estabilizadas);</li> <li>- Transformação das fissuras em juntas de retração (fissuras não estabilizadas, de traçado regular e grande variação de abertura);</li> </ul>

Variação de temperatura:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Preenchimento com mástique e colocação de revestimento elástico e armado (fissuras não estabilizadas);</li> <li>- Transformação das fissuras em juntas de retração (fissuras não estabilizadas, de traçado regular e grande variação de abertura);</li> </ul>
Deformação excessiva do suporte:	Utilizar as mesmas reparações já descritas para fissuras não estabilizadas.

Tabela 2 – Causas para a fissuração e respectivas reparações (Silva, 1998)

### 3.3.2. Reparação de fissuras que envolvam perda de estanquidade das paredes

O primeiro e fundamental problema da fissuração é o efeito psicológico dos utentes.

A maior preocupação dos técnicos relativamente à fissuração, sem ser a estabilidade do edifício, é a perda de estanquidade da alvenaria. Deste modo várias são as técnicas, apresentadas na Tabela 3, de modo a garantir a reparação das fissuras e conferir de novo estanquidade à parede. Algumas das soluções apresentadas limitam-se à reparação das fissuras e outras à reparação da fachada.

<b>Campo de Aplicação</b>	<b>Técnicas de Reparação</b>	<b>Descrição</b>
Fissuras estabilizadas	Injeção de resinas:	Injetam-se nas fissuras resinas fluídas sob pressão com recurso a agulhas especiais;
	Preenchimento com argamassa:	Abre-se a fissura e preenche-se com nova argamassa adjuvada com resinas adesivas;
Fissuras não estabilizadas	Vedação com mástique:	Abre-se e limpa-se a fissura e fecha-se o seu fundo com poliuretano para que o mástique fique ligado apenas às duas faces da fissura;
Fissuras pequenas e microfissuras	Reparação global em paredes com fissuras “mortas” ou microfissuras:	Execução de pinturas à base de resinas acrílicas com duas ou três camadas;

	Recuperação global em paredes com fissuras “vivas”:	Pinturas idênticas às anteriores, com maior espessura, que incluem uma armadura embebida na segunda camada;
Fissuras não estabilizadas de 0,2 a 3 mm de abertura	Reparação pelo método de “ponte”:	Remoção de uma faixa de reboco, aplicação de dessolidarizante, uma armadura e argamassa não retrátil, sob o novo reboco final;

Tabela 3 – Técnicas de reparação de fissuras que envolvem perda de estanquidade da parede  
(Oliveira, 2012; Silva, 1998)

### 3.4. Técnica de Reparação de Fissuras em “Ponte”

#### 3.4.1. Descrição geral

A reparação de fissuras em “ponte” é destinada a fissuras não estabilizadas. Esta técnica de reparação consiste na substituição de uma parcela do reboco em torno da fissura, por uma argamassa não-retrátil armada (na maioria dos casos parcial, ou colocada sob o reboco final). É ainda utilizada uma banda de dessolidarização de modo a diminuir os movimentos da fissura. No caso de estar em causa a estanquidade da parede, antes de se proceder à reparação, é selada a fissura com mástique (Oliveira, 2012). A Figura 9 ilustra o que foi anteriormente descrito.

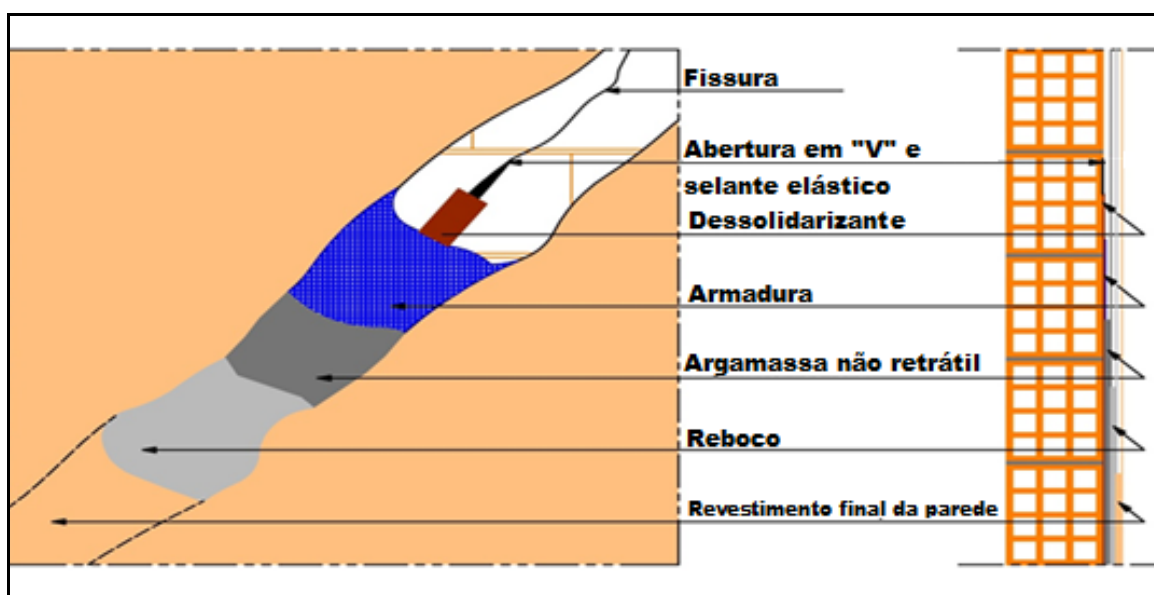


Figura 9 – Esquematização da técnica de reabilitação de fissuras em “ponte” (Vieira, 2014)

### **3.4.2. Aplicação e condicionantes**

Segundo (Oliveira, 2012) e (Póvoa, 2012) a reabilitação de fissuras em “ponte” é uma técnica que deve ser aplicada a fissuras não estabilizadas, com largura que varia entre 0,2 e 3 mm, em que é necessário que a fissura continue a movimentar-se, mas que tenha estanquidade à água.

Existem situações em que esta técnica não é viável e não deve ser utilizada, como na fissuração fina, na fissuração generalizada em que existe pouco espaço entre fissuras, na fissuração vertical junto a arestas de cunhais, na fissuração com rotura trespassante das paredes, na fissuração paralela a bordos de laje, na fissuração excessiva em que as causas ainda não foram eliminadas e na fissuração com deslocamentos transversais ao plano de parede.

### **3.4.3. Precauções na reabilitação de fissuras em “ponte”**

A tarefa mais complicada na aplicação desta técnica é a de retirar uma faixa de reboco com alguma dimensão, pois pode destruir a parede e comprometer a utilização da mesma. Contudo este passo é dispensável caso o revestimento aplicado seja suficientemente espesso, aplicado a toda a parede, não deformável e resistente à tração (Oliveira, 2012).

Existem ainda alguns erros que se devem evitar – Tabela 4 – de modo a cumprir os objetivos da reabilitação.

<b>Ação</b>	<b>Eventuais Erros</b>	<b>Consequências</b>
Remoção do reboco numa faixa de 20 a 25 cm de largura	Largura reduzida da faixa de remoção do reboco	Incapacidade para transmitir ao suporte as tensões de corte devidas aos movimentos da fissura
	Espessura muito reduzida da faixa removida	Reduzida resistência mecânica sobre a zona dessolidarizada com papel “kraft”
Fissura reaberta em “V” com disco rotativo de 5 mm, com 10 mm de profundidade	Fissura pouco reaberta	Dificuldade em introduzir o mástique na fissura, com material excedente a criar rebordo
	Reabertura excessiva da fissura	Consumo excessivo de mástique e dificuldade na sua aplicação uniforme
Vedação da fissura com mástique sintético	Omissão do mástique ou mástique com reduzida durabilidade ou elasticidade	Incapacidade de garantir a estanquidade da fissura mesmo após reparação da superfície
Fita de dessolidarização (papel “kraft”) com 2 a 4 cm de largura, sobre a fissura	Ausência da fita ou fita demasiado fina	Incapacidade de garantir uma adequada distribuição das tensões no reboco sobre a fissura
	Fita muito próxima do bordo do reboco retirado	Incapacidade para transmitir ao suporte as tensões de corte devidas aos movimentos da fissura
Reparação do reboco com argamassa curativa armada (não retrátil)	Reboco corrente com retração não desprezável	Elevada probabilidade de fissuração nos bordos da zona reabilitada na ligação ao reboco antigo
	Ausência de armadura	Reboco curativo incapaz de absorver os esforços nas imediações do papel “kraft” sem fissurar

Tabela 4 – Erros correntes na reabilitação de fissuras em “ponte” (Silva, 2002)

## Capítulo 4 - Análise Experimental

### 4.1. Enquadramento e Objetivos da Atividade Experimental

A fissuração é uma das manifestações patológicas regulares em paredes de alvenaria. Essa anomalia, como já foi indicado anteriormente, provoca diversas consequências no comportamento e desempenho das alvenarias e é necessário cessar algumas dessas consequências. Várias são as técnicas utilizadas para reparar, diminuir ou mesmo ocultar fissuras.

A “reabilitação em ponte”, que se destina fundamentalmente à ocultação de fissuras não estabilizadas, é das técnicas mais utilizadas e também das mais eficazes. Contudo a técnica baseia-se apenas no conhecimento empírico de reparações já realizadas, sendo que os estudos que a abordam são poucos e não está devidamente sustentada a sua utilização.

São diversas as variáveis que têm influência nesta técnica de reparação e a influência de todas elas deve ser estudada de modo a conseguir-se o melhor resultado técnico-científico. As diferentes variáveis desta técnica são: a influência da armadura, no caso de fibra de vidro, a área de reparação, mais concretamente a largura, a espessura da argamassa de reparação, a largura da banda de dessolidarização e por fim as características da argamassa, em aspetos como a aderência, a baixa retratibilidade e a resistência. Face à variabilidade de hipóteses que facilmente se constata poder-se-ia obter um rol de possibilidades contudo, por se tratar de uma dissertação de mestrado, serão abordadas apenas duas variáveis: largura da reparação e armadura de fibra de vidro.

A campanha experimental realizada analisa a resistência da reparação perante a alteração das variáveis quando estas são sujeitas a esforços de compressão. É ainda abordada a questão económica da reparação que é influenciada principalmente pela largura da reparação pois quanto maior, mais material e mão-de-obra serão necessários, o que significa maiores custos. Esta dissertação dá seguimento a três trabalhos já desenvolvidos por outros colegas, (Duarte, 2013; Oliveira, 2012; Póvoa, 2012), onde as variáveis utilizadas foram a largura da banda de dessolidarização, a largura da reparação e a influência da argamassa, usando para isso duas qualidades de argamassa. As variáveis que se mantêm ao longo deste trabalho têm como base as conclusões retiradas pelos colegas: a banda de dessolidarização utilizada tem largura de 3,5 cm (Oliveira, 2012), as larguras de reparação estudadas estão entre os dois melhores valores retirados de (Póvoa, 2012), isto é,

entre 10 cm e 15 cm e a espessura de reparação é de 10 mm. Todo o trabalho experimental ocorreu no Laboratório do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

## 4.2. Seleção e Caracterização dos Materiais

### 4.2.1. Seleção dos materiais

Para a realização dos provetes foram utilizados tijolos de barro vermelho com furação horizontal de dimensões 30x20x15 cm em que, para a reparação de uma face foi feito um corte de espessura de 2 mm em todo o comprimento e abrangendo duas furações e para a reparação das duas faces foram utilizados tijolos cujo septo superior foi cortado horizontalmente a meio – Figura 10. Na reparação das duas faces foram ainda utilizados pedaços de cortiça de 2 mm que colocados entre os dois tijolos simulam a fissura. Para os dois tipos de reparação foram utilizadas uma argamassa de reparação, dois tipos de rede de fibra de vidro e fitas de papel autocolante para fazer de banda de dessolidarização. A escolha dos materiais utilizados recaiu nos mesmos devido a doações e facilidade de aquisição. Os tijolos fazem parte da construção da alvenaria em Portugal e a argamassa é vastamente utilizada na reparação de betão. A Figura 11 ilustra todos os materiais abordados anteriormente.



	
<p>a) Tijolo para provete com reparação nas duas faces;</p>	<p>b) Tijolo para provete com reparação numa das faces;</p>

Figura 10 – Tijolos utilizados na constituição dos provetes



	
<p>a) Tijolo de barro vermelho com furação horizontal</p>	<p>b) Cortiça com 2 mm de espessura</p>
	
<p>c) Fita de papel autocolante</p>	<p>d) Argamassa Sika Rep-212</p>
	
<p>e) Rede de fibra de vidro com gramagem de 110 g/m<sup>2</sup></p>	<p>f) Rede de fibra de vidro com gramagem de 160 g/m<sup>2</sup></p>

Figura 11 – Materiais utilizados na atividade experimental

Para a realização da atividade experimental recorreu-se ainda à utilização de moldes com as diferentes áreas de reparação seleccionadas e com 10 mm de espessura para melhorar os resultados dos ensaios e aperfeiçoar as reparações. Estes moldes foram elaborados em compacto fenólico e são formados por 2 ou 3 peças – Figura 12.

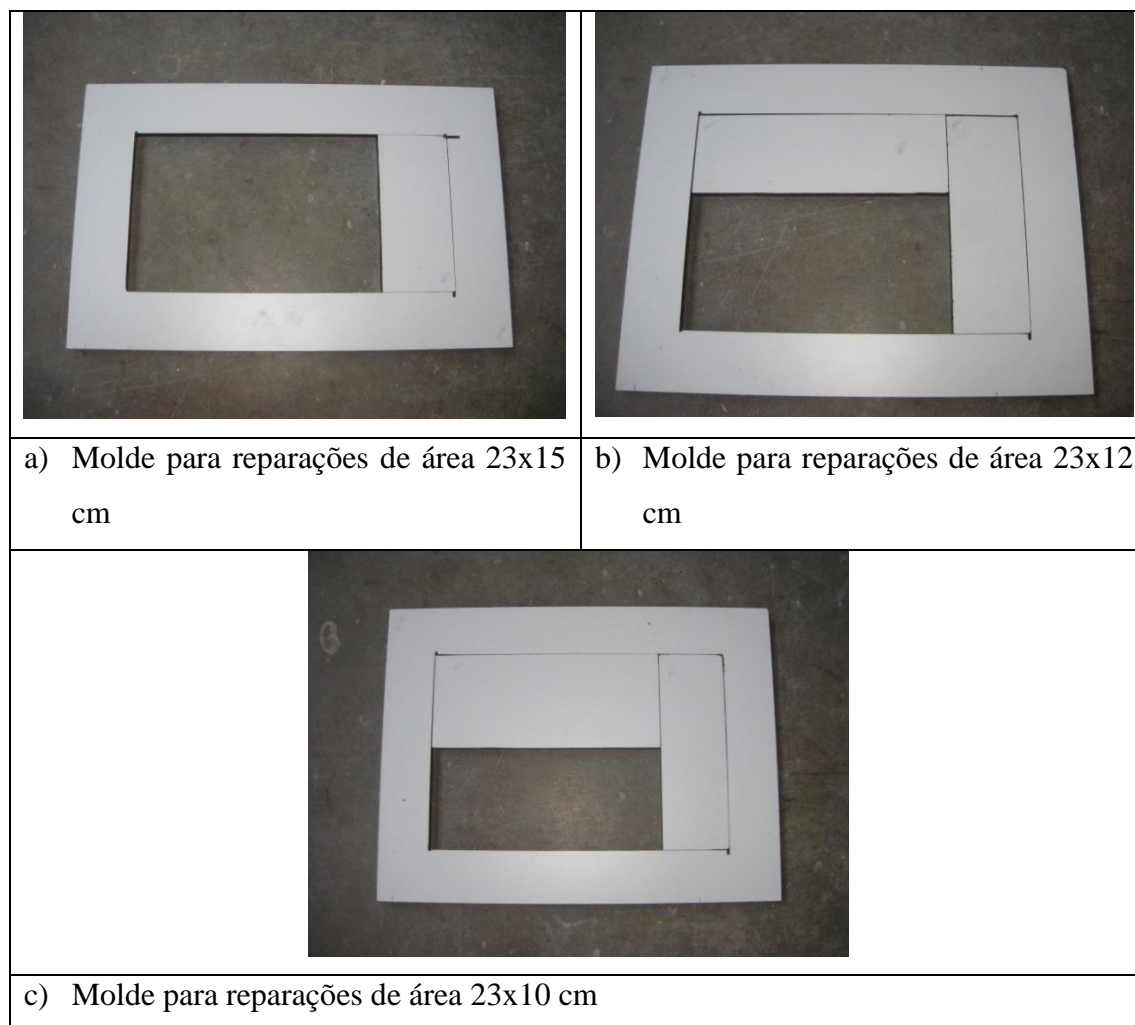


Figura 12 – Moldes utilizados durante a preparação dos provetes

## 4.2.2. Caraterização dos materiais

### 4.2.2.1. Tijolo

Os tijolos utilizados nos provetes são tijolos furados horizontalmente de barro vermelho de utilização comum em Portugal. As dimensões dos tijolos são 30x20x15 cm e foram fabricados pela Fábrica de Cerâmica das Quintãs em Aveiro.

Foram ensaiados à compressão 12 tijolos, aos quais previamente se retificaram as faces superior e inferior com argamassa reforçada com rede de fibra de vidro – Figura 13 – e

após a análise dos dados fornecidos pelos ensaios – Tabela 5 - concluiu-se que a resistência à compressão dos mesmos é superior a 1,5 MPa, valor estabelecido pela norma EN 772-1.





	
<p>a) Computorização do ensaio</p>	<p>b) Maquinismo do ensaio à compressão</p>
	
<p>c) Ensaio de um tijolo à compressão</p>	<p>d) Tijolo após ter sido ensaiado à compressão</p>

Figura 13 – Ensaio à compressão dos tijolos

Identificação dos Corpos de Prova	Dimensões dos Corpos de Prova			Carga de rotura (kN)	Resistência à Compressão (MPa)		
	Comp. (cm)	Espes. (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )		Unitária	Média	Média Ponderada
Q - F1 - CS 1	30,00	14,60	438,00	97,29482	2,221	1,445	1,612
Q - F1 - CS 2	29,80	14,60	435,08	48,65634	1,118		
Q - F1 - CS 3	29,70	14,40	427,68	0	0		
Q - F1 - CS 4	30,00	14,60	438,00	80,73166	1,843		
Q - F1 - CS 5	30,40	14,80	449,92	90,78925	2,017		
Q - F1 - CS 6	30,10	14,60	439,46	64,66572	1,471		
Q - F2 - CS 7	29,50	14,50	427,75	87,44565	2,044	1,597	1,615
Q - F2 - CS 8	30,00	14,50	435,00	81,94941	1,883		
Q - F2 - CS 9	30,00	14,60	438,00	64,28461	1,467		
Q - F2 - CS 10	29,90	14,60	436,54	61,68536	1,413		
Q - F2 - CS 11	30,05	14,70	441,74	47,71251	1,080		
Q - F2 - CS 12	30,00	14,70	441,00	74,80667	1,696		

Tabela 5 – Resultados dos ensaios de compressão dos tijolos

É importante ter em consideração a qualidade do tijolo pois a qualidade da alvenaria depende da qualidade do mesmo. Segundo António Dias (Dias, 2002), existem características que são importantes no tijolo e que lhes garantem, ou não, a sua qualidade: a resistência mecânica onde se engloba a resistência à compressão que como já foi referido deverá ser no mínimo de 1,5 MPa, a ausência de eflorescências, pois os sais poderão ser posteriormente absorvidos pela argamassa comprometendo a qualidade da alvenaria, o aspeto visual: um tijolo com fissura, quebras, saliências ou reentrâncias é um tijolo cuja qualidade já está comprometida, a durabilidade e as dimensões do mesmo.

Devido a todas estas características e exigências, embora na prática se utilizem tijolos com algumas fissuras que não afetam o comportamento final do pano de alvenaria, todos os tijolos utilizados foram sujeitos a uma seleção por percussão e todos os que apresentavam fissuras ou outros defeitos foram excluídos da preparação dos provetes e deste modo os ensaios realizados não foram comprometidos por estes defeitos.

Para melhor avaliar a qualidade do material cerâmico utilizado foram previamente executados ensaios para determinar o teor de solúveis – Figura 14, através da utilização de ácido clorídrico a 1:1 segundo a norma, contidos quer na argila semibruta, pasta moída que foi homogeneizada a vácuo e seca, quer no produto final após o cozimento a 910°C durante 16 horas tendo-se concluído que o teor de solúveis é o constante na Tabela 6. Foram ainda realizados ensaios de difração de raios X (DRX) para determinação da composição mineralógica e de espectrometria de efluorescências de raios X (FRX) para determinação da composição química dos mesmos, sendo que a amostra mais importante é a do produto final. Todos os ensaios elaborados foram feitos em conjunto com um aluno de doutoramento cuja área de investigação é a mesma.

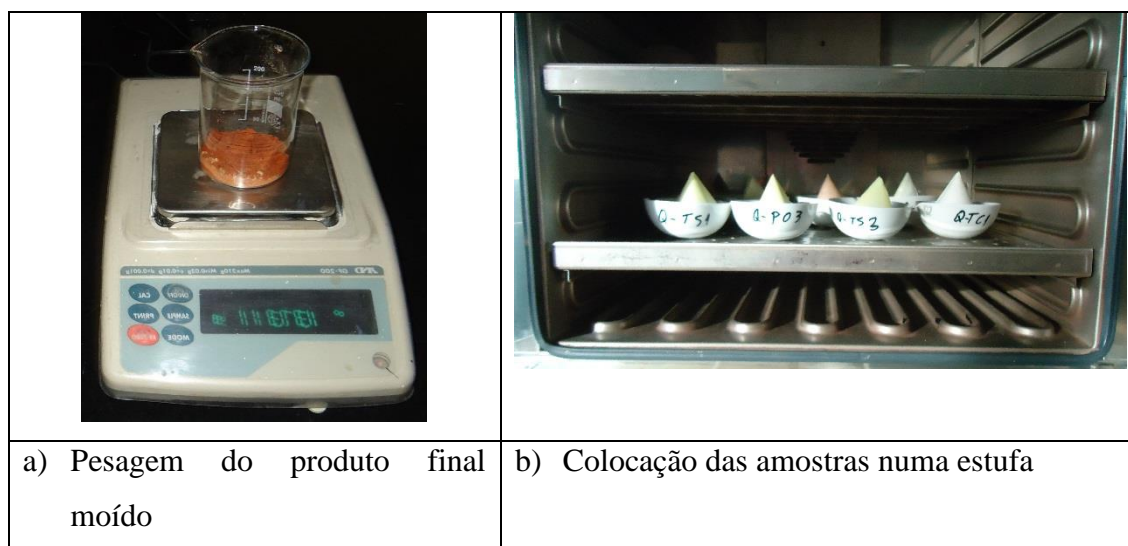


Figura 14 – Ensaio para determinar o teor de solúveis



Matéria-prima	Ref <sup>a</sup>	Percentagem de insolúveis (%)	Percentagem de solúveis (%)
Argila em pó (semibruta) humidade natural	Q - PO 1	92,575	7,425
	Q - PO 2		
	Q - PO 3		
Tijolo seco - 16 horas a 50°C	Q - TS 1	92,893	7,107
	Q - TS 2		
	Q - TS 3		
Tijolo cozido a 910°C	Q - TC 1	96,105	3,895
	Q - TC 2		
	Q - TC 3		

Tabela 6 – Percentagem de solúveis nos tijolos

O ensaio de difração de raios X (DRX) – Figura 15 - é considerada técnica padrão na identificação e no estudo de minerais. Nesta, os feixes de raios X incidem em famílias de planos da amostra num ângulo  $\Theta$  e, se a lei de BRAGG, relacionada com o espalhamento de ondas incidentes num mineral, cujos padrões são explicados relacionando os vetores de onde do feixe incide (Wikipédia, 2015a), for satisfeita, ocorre difração. É o único ensaio capaz de fornecer informações qualitativas e quantitativas relativamente à composição mineralógica dos materiais constituintes de uma mistura. Esta técnica não é destrutiva e o seu processo é rápido.



Figura 15 – Difratómetro de raios-X presente no Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

Para realizar o ensaio de DRX a amostra deve ser desagregada e reduzida a pó numa finura tendente a coloidal preferencialmente num moinho semelhante ao da Figura 16, que se encontra no Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.

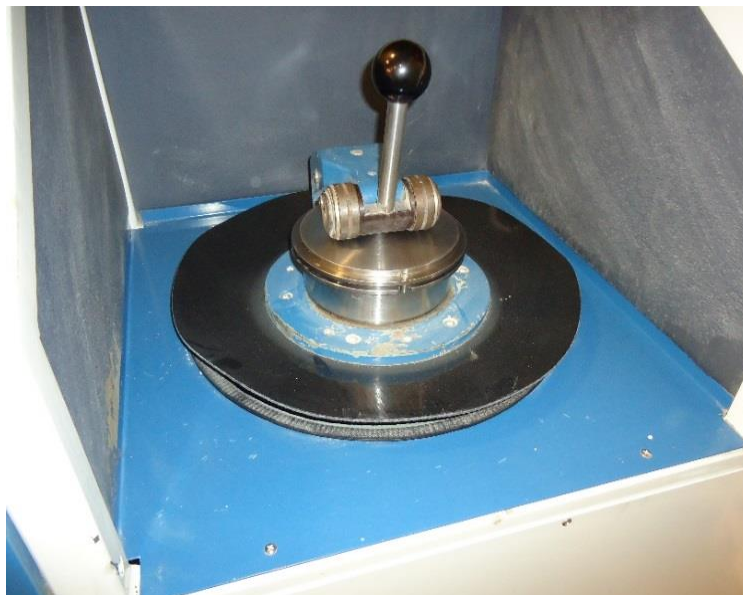


Figura 16 – Moinho existente no Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

Através da comparação do difratograma ilustrado na Figura 17, obtido pela técnica de DRX com curvas padrão, conclui-se que na composição mineralógica do tijolo utilizado na campanha experimental predomina o quartzo ( $\text{SiO}_2$ ). Existe ainda presença de feldspato alcalino ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) e de mica [ $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH}_2)$ ].

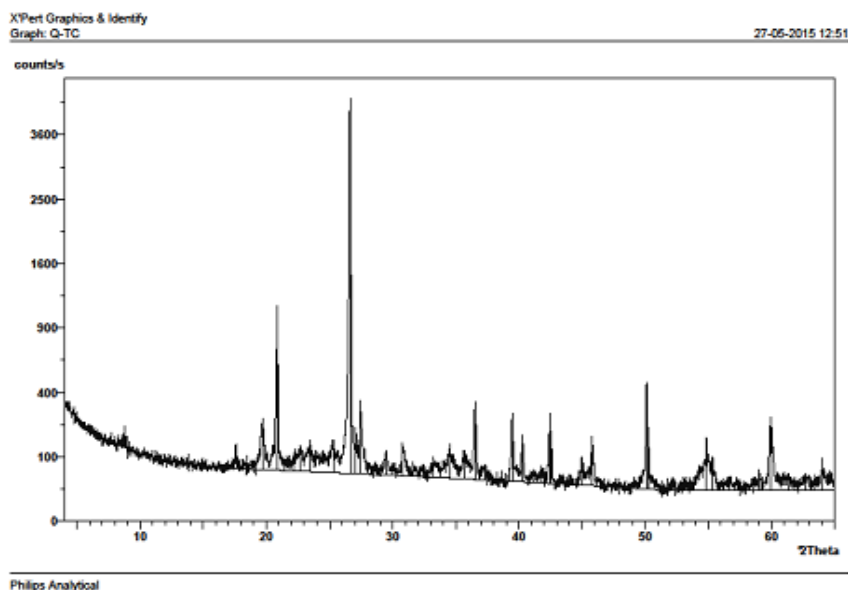


Figura 17 – Difratograma do pó do tijolo cozido utilizado na atividade experimental

Por outro lado, a Espectrometria por fluorescência de raios X (FRX) – Figura 18 - que permite identificar os elementos presentes na amostra e determinar as suas concentrações através dos feixes de raio X emitidos por esses elementos quando bombardeados com a energia suficiente, destaca-se por ser uma técnica instrumental que caracteriza quantitativa e qualitativamente a composição química da amostra. Esta técnica proporciona ainda a determinação simultânea de vários elementos químicos com uma ampla faixa de números atômicos.



Figura 18 – Espectrómetro de fluorescência de raios-X presente no Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

A composição química dos tijolos, fornecidos pela Cerâmica das Quintãs e utilizados na atividade experimental, obtida através da técnica de FRX encontra-se na Tabela 7.



Componentes/Elementos Químicos Maiores	(%)
Na <sub>2</sub> O	0,257
MgO	1,566
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,777
SiO <sub>2</sub>	66,612
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,064
SO <sub>3</sub>	0,070
Cl	0,006
K <sub>2</sub> O	3,512
CaO	0,351
TiO <sub>2</sub>	0,845
MnO	0,018
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,379
Zr	0,027
Ba	0,036
LOI	0,370

Tabela 7 – Composição química dos tijolos da Cerâmica das Quintãs, Aveiro

#### 4.2.2.2. Cortiça

A cortiça utilizada nos ensaios é uma cortiça comum com 2 mm de espessura e foi cortada com uma largura de 5,5 cm, medida esta do septo central do tijolo e colada a todo o comprimento do tijolo perfazendo cerca de 30 cm de comprimento. Não se procedeu à colocação da cortiça por toda a área do tijolo, pois a sua colocação serve apenas para criar espaçamento entre eles simulando deste modo a fissura.

#### 4.2.2.3. Papel Autocolante

Foi utilizada uma fita de papel autocolante semelhante ao papel “kraft” como banda de dessolidarização e com 3,5 cm de largura. Foi colocada sobre a “fissura” simulada pela cortiça, centrando esta, e colada em todo o comprimento do tijolo.

#### **4.2.2.4. Rede de Fibra de Vidro**

Uma das variáveis utilizadas neste ensaio é a variância da gramagem e malha da rede de fibra de vidro. Deste modo foram utilizadas duas redes, uma de gramagem 110 g/m<sup>2</sup> e outra de 160 g/m<sup>2</sup>. A rede de gramagem de 110 g/m<sup>2</sup> tem uma malha de cerca de 10x10 mm e uma resistência à tração de 26 MPa (1300 N/5cm) e um alongamento à rotura de 3,50% (TOPECA, 2015).

A rede de gramagem de 160 g/m<sup>2</sup> tem uma malha de cerca de 4x5 mm e uma resistência à tração de (teia/trama) 1830/1510 N/5cm (WEBER Saint-Gobain, 2015).

#### **4.2.2.5. Argamassa**

A argamassa adotada (por sugestão do fabricante em substituição do Sika Monotop 620 utilizado pelos autores das teses já citados), para este trabalho trata-se de uma argamassa polimérica indicada para reparações de betão. Trata-se de uma argamassa fabricada pela Sika e denominada de Sika Rep-212. Apresenta uma resistência à compressão de 10 MPa em 24 horas e 35 MPa aos 28 dias. A tensão de aderência é de 1,5 MPa e o módulo de elasticidade é de 15 GPa. O fabricante aconselha, para a amassadura da argamassa, que se utilizem 4 litros de água por cada saco de argamassa (25 Kg) sendo que o consumo é de 1,5 Kg/m<sup>2</sup>/mm. É ainda aconselhada a utilização de um misturador elétrico de baixa rotação, mais precisamente de 500 r.p.m (SIKA, 2015).

Seguindo as recomendações fornecidas pelo fabricante da argamassa procedeu-se à sua realização consoante os provetes que seriam elaborados sendo que, para cada reparação, a quantidade de argamassa e água se encontram na Tabela 8, efetuando-se depois a soma das quantidades de argamassa e água que fossem necessárias para a quantidade de provetes a realizar no momento. A Figura 19 ilustra a preparação da argamassa.




	
a) Pesagem da argamassa e colocação da mesma num recipiente;	b) Medição da quantidade de água num recipiente medidor;
	
c) Aspeto final da argamassa depois de misturada com a água e de amassada	

Figura 19 – Preparação da argamassa

A argamassa foi misturada e homogeneizada (amassada) manualmente, porque a preparação dos provetes não se faz na forma industrial e trata-se de pequenas quantidades, tal como preconizado pelo fabricante e de modo a preservar as características da argamassa propostas pela marca da mesma.



Reparação:	230x100x10	230x120x10	230x150x10
Área (m <sup>2</sup> ):	0,023	0,0276	0,0345
Argamassa (Kg):	0,345	0,414	0,5175
Água (L):	0,0552	0,06624	0,0828

Tabela 8 – Quantidades de água e argamassa para cada área de reparação

### 4.3. Preparação dos Provetes e Anomalias Observadas

#### 4.3.1. Preparação dos provetes com reparação numa das faces

Os provetes com reparação numa das faces são constituídos apenas por um tijolo de barro vermelho com dimensões 30x20x15 cm, em que se cortaram dois septos com um disco diamantado de 1,8 mm de espessura em todo o comprimento mantendo íntegros os outros dois, simulando deste modo uma fissura de cerca de 2 mm. Após o corte foi colocada uma fita de papel autocolante e foi feita a reparação com espessura de 10 mm. Na Figura 20 encontram-se todos os passos seguidos para a elaboração dos quatro provetes com uma área de reparação de 23x15 cm em apenas uma das faces, sendo que em dois foi utilizada rede (armadura) de fibra de vidro de gramagem de 110g/m<sup>2</sup> e nos outros dois de 160g/m<sup>2</sup>.

	1) Colagem do papel autocolante como banda dessolidarizante centrando a fissura. Pode verificar-se no septo logo abaixo o corte do tijolo;
	2) Colocação do molde (cofragem) centrando a zona de reparação do tijolo e centrando também a fissura no molde;




	<p>3) Humedecimento do suporte na zona onde será feita a reparação de modo a evitar a absorção pelo tijolo de parte da água constituinte da argamassa;</p>
	<p>4) Colocação de cerca de 5 mm de espessura de argamassa. Após este passo colocou-se a rede de fibra de vidro e encheu-se o molde com argamassa até perfazer 10 mm de altura de reparação;</p>
	<p>5) Remoção do molde e cura da argamassa.</p>

Figura 20 – Preparação dos provetes com reparação numa das faces

Como já foi referido anteriormente, foram elaborados 4 provetes com reparação em apenas uma das faces em que 2 serão ensaiados à tração e os outros 2 à compressão. Na Figura 21 está representado o esquema dos provetes e na Tabela 9 encontram-se as designações utilizadas para os provetes e as suas características.

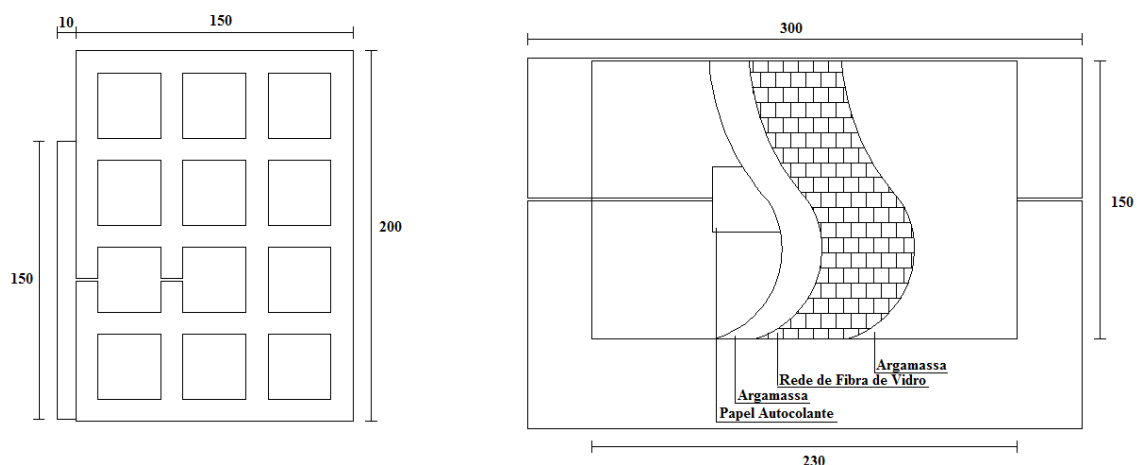


Figura 21 – Esquema dos provetes com reparação numa das faces

Proвете	Designação	Largura da faixa de dessolidarização (cm)	Largura da reparação (cm)	Comprimento da reparação (cm)	Rede de fibra de vidro (g/m <sup>2</sup> )
Compressão	1-L3-R1-C1	3,5	15	23	110
	1-L3-R2-C1	3,5	15	23	160
Tração	1-L3-R1-T1	3,5	15	23	110
	1-L3-R2-T1	3,5	15	23	160

Tabela 9 – Designação dos provetes com reparação numa face e respectivas características

#### 4.3.2. Preparação dos provetes com reparação nas duas faces

Os provetes com reparação nas duas faces são constituídos por dois tijolos de barro vermelho com dimensões 30x20x15 cm cujos septos do primeiro furo foram cortados a metade da altura – Figura 22.



Figura 22 – Corte dos tijolos para a reparação das duas faces

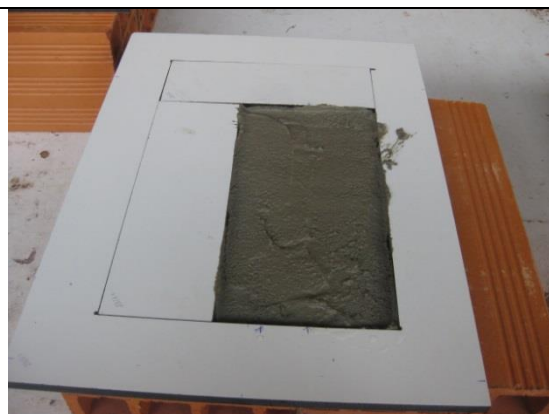


Foi colada uma tira de cortiça apenas num dos tijolos que constitui o provete para a cola não influenciar os ensaios, mais propriamente os ensaios de tração. Após este passo, os tijolos foram colocados lado a lado e foi colocada uma tira de papel autocolante em cada uma das faces. Posteriormente procedeu-se à reparação com 10 mm de espessura das duas faces de cada provete utilizando os moldes com as três diferentes áreas de reparação e as duas gramagens de rede de fibra de vidro, tal como está ilustrado na Figura 23. Ao todo foram elaborados 24 provetes com reparação das duas faces.

	<p>1) A cortiça foi colada na fieira central de um dos tijolos constituintes do provete utilizando uma cola resinosa;</p>
	<p>2) Colocação dos tijolos na sua posição final, com a cortiça a permitir a simulação da fissura e colagem do papel autocolante como banda dessolidarizante;</p>
	<p>3) Colocação do molde (cofragem) centrando a zona de reparação do tijolo e centrando também a fissura no molde;</p>



4) Humedecimento do suporte na zona onde será feita a reparação de modo a evitar a absorção pelo tijolo de parte da água constituinte da argamassa;



5) Colocação de cerca de 5 mm de argamassa, perfazendo cerca de metade da camada total;



6) Colocação da rede de fibra de vidro sobre a primeira camada de argamassa. Deste modo a rede de fibra de vidro fica no meio da camada de argamassa total;



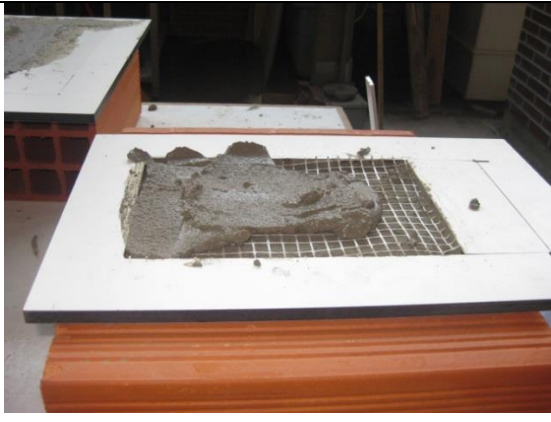


	<p>7) Colocação de argamassa sobre a fibra de vidro perfazendo assim 1 cm de espessura de reparação;</p>
	<p>8) Desempeno da superfície de modo a não ficar com espaços vazios;</p>
	<p>9) Remoção do molde e cura da argamassa.</p>

Figura 23 – Preparação dos provetes com reparação nas duas faces

Como já foi referido anteriormente, foram elaborados 24 provetes com reparação nas duas faces, sendo que 12 dos provetes serão ensaiados à tração e os outros 12 à compressão. Na Figura 24 encontra-se representado um esquema dos provetes com reparação nas duas faces e na Tabela 10 encontram-se as designações para cada provete e respectivas características.

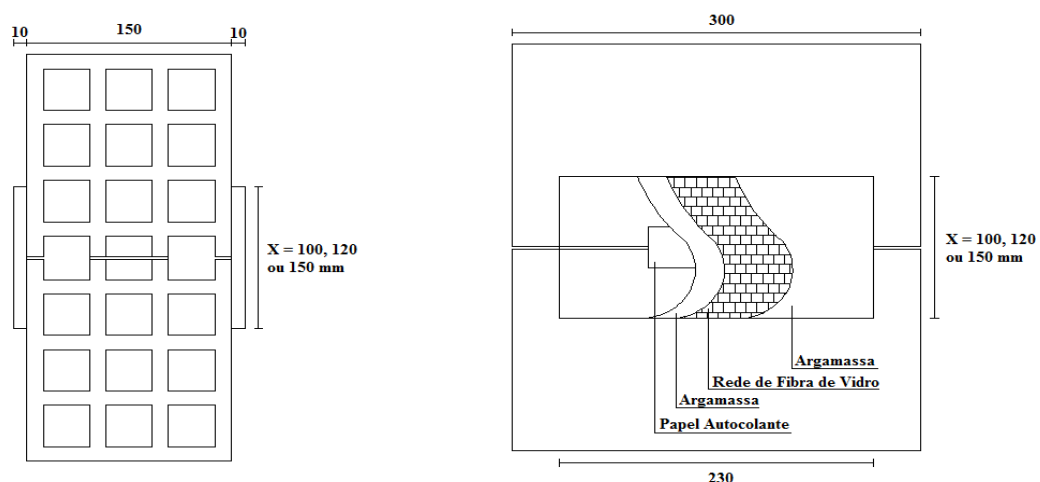


Figura 24 – Esquema dos provetes com reparação nas duas faces

Proвете	Designação	Largura da faixa de dessolidarização (cm)	Largura da reparação (cm)	Comprimento da reparação (cm)	Rede de fibra de vidro (g/m <sup>2</sup> )
Compressão	L1-R1-C1	3,5	10	23	110
	L1-R1-C2	3,5	10	23	110
	L2-R1-C1	3,5	12	23	110
	L2-R1-C2	3,5	12	23	110
	L3-R1-C1	3,5	15	23	110
	L3-R1-C2	3,5	15	23	110
	L1-R2-C1	3,5	10	23	160
	L1-R2-C2	3,5	10	23	160
	L2-R2-C1	3,5	12	23	160
	L2-R2-C2	3,5	12	23	160
	L3-R2-C1	3,5	15	23	160
	L3-R2-C2	3,5	15	23	160
Tração	L1-R1-T1-E	3,5	10	23	110
	L1-R1-T2	3,5	10	23	110
	L2-R1-T1-E	3,5	12	23	110
	L2-R1-T2	3,5	12	23	110
	L3-R1-T1-E	3,5	15	23	110
	L3-R1-T2	3,5	15	23	110
	L1-R2-T1-E	3,5	10	23	160
	L1-R2-T2	3,5	10	23	160
	L2-R2-T1-E	3,5	12	23	160
	L2-R2-T2	3,5	12	23	160
	L3-R2-T1-E	3,5	15	23	160
	L3-R2-T2	3,5	15	23	160

Tabela 10 – Designação dos provetes com reparação nas duas faces e respetivas características

Em seis dos doze provetes para os ensaios à tração foram ainda colocados, apenas numa das faces de reparação, dois extensómetros, um horizontalmente e outro verticalmente de modo a descobrir-se os movimentos nas duas direcções durante o ensaio à tração.

#### **4.3.3. Anomalias observadas**

Ao longo da preparação dos provetes foram observadas algumas anomalias. Uma delas trata-se da descolagem da argamassa nos cantos da reparação. Por se tratar de uma anomalia sem grandes danos procedeu-se à reparação da parte destruída com retirada da argamassa solta e colocação de nova argamassa, concluindo com desempenho de modo a não sobressair da reparação original tal como está representado na Figura 25. A causa mais provável para este tipo de anomalias é a retirada do molde, pois a argamassa pode vir colada a este, já que se estava a trabalhar com argamassa não retrátil ou de baixa retração.



Figura 25 – Reparação de um canto da argamassa após o descolamento da mesma

A outra anomalia observada foi a descolagem total da reparação perante o tijolo, tal como se encontra representado na Figura 26. Nestes casos a solução passou pela retirada total da reparação e elaboração de uma nova. Sempre que era possível procedia-se à elaboração de novos provetes com novos tijolos e novo papel autocolante.

As causas mais prováveis para a ocorrência desta anomalia poderão ser o facto de o pincel usado para o humedecimento dos tijolos conter resíduos de óleo, no entanto este pincel foi utilizado em vários provetes e tal ocorrência não aconteceu em todos, ou poderá ainda ter sido ultrapassado o “*pot-life*” da argamassa. Por outro lado a ficha técnica da argamassa aborda apenas a aplicação direta sobre o betão, logo poderão ocorrer problemas ao colocá-la sobre tijolos.

Porém, é de evidenciar que todas as reparações que se descolaram tinham as mesmas dimensões e tinham sido elaboradas com o mesmo molde, logo a causa poderá estar na constituição do molde ou na sua utilização.

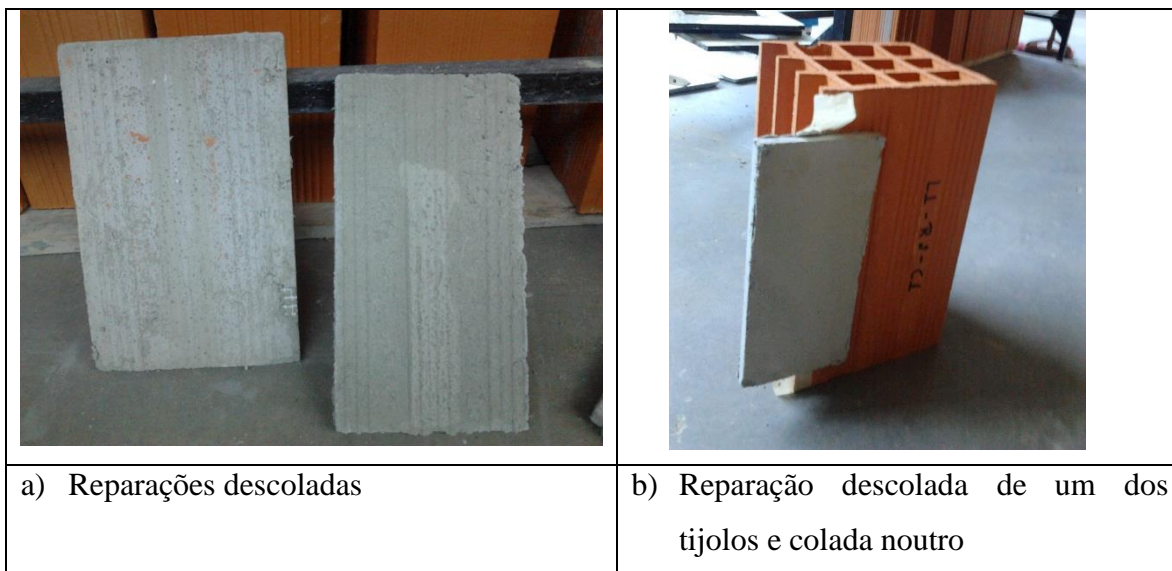


Figura 26 – Descolamento da reparação do tijolo

#### 4.4. Descrição dos ensaios

##### 4.4.1. Preparação dos ensaios à tração

Já foi referido anteriormente que foram elaborados 14 provetes para o ensaio à tração, 2 com reparação numa das faces e 12 com reparação nas duas faces. Foram colocados extensómetros em seis dos provetes com áreas e armadura diferentes, excluindo destes os provetes com reparação em apenas uma das faces.

Através dos ensaios à tração realizados pelos colegas de Coimbra (Duarte, 2013; Oliveira, 2012; Póvoa, 2012) concluiu-se que a utilização de cabos diretamente nos tijolos não seria a melhor solução pois durante a tração vários tijolos romperam com a força dos cabos sem que se tenha retirado qualquer informação do comportamento das reparações – Figura 27.



Figura 27 – Rotura do tijolo devido ao cabo de tração (Oliveira, 2012)

Com o intuito de solucionar este problema, foi desenhado e confeccionado um mecanismo metálico de tração - Figura 28, que permite distribuir os esforços, implicados pelo pórtico de ensaio, por toda a área do provete sem provocar a quebra dos tijolos nas suas extremidades. Desse modo, de forma a distribuir as tensões e a ligar esse mecanismo ao provete, era necessário tornar monolíticas as partes superiores e inferiores dos tijolos que formam cada provete.

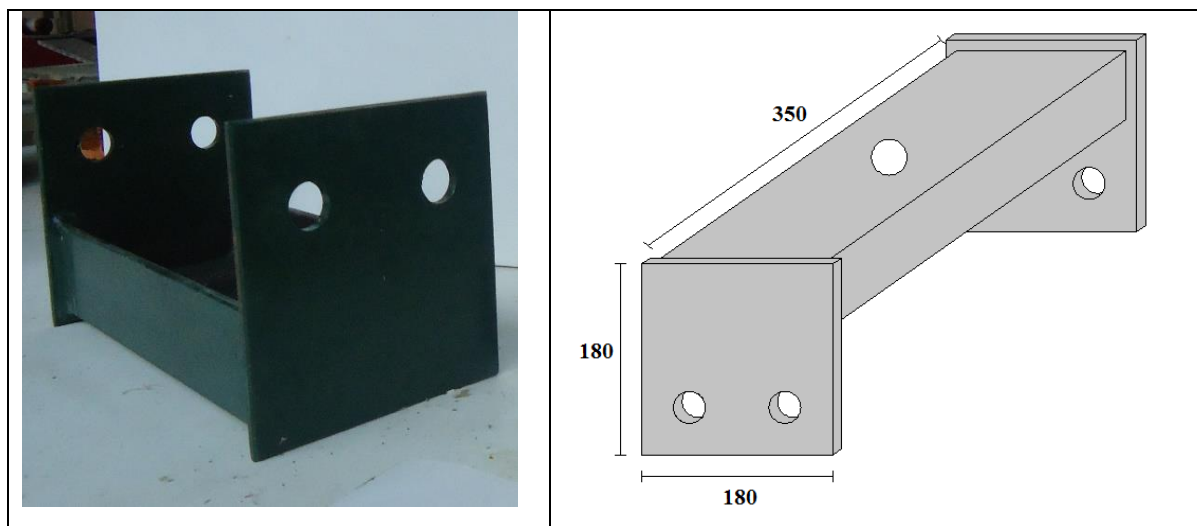


Figura 28 – Esquema do mecanismo metálico de tração

No início desse processo, com a ajuda de um molde – Figura 29 – foram colocados dentro dos furos dos cantos do tijolo tubos de aço com 28 mm de diâmetro externo e 1,5 mm de espessura de parede – DIN 2394, utilizando uma argamassa líquida, de retração controlada, utilizada para selagens de altas prestações e de rápida secagem (no caso Weber.tec Grout (Weber Saint-Gobain, 2015)).

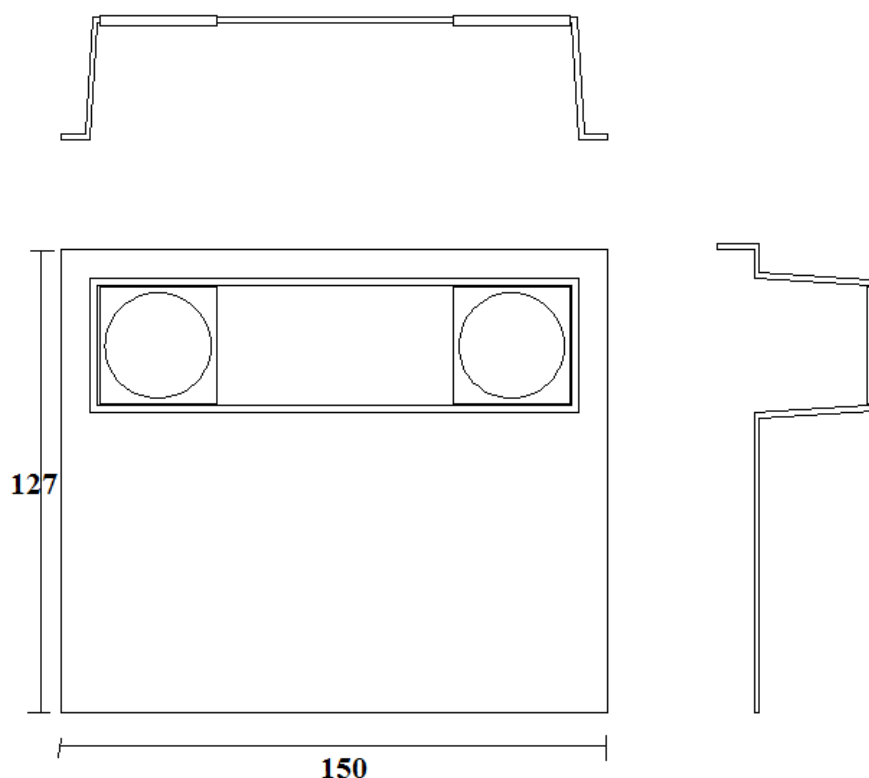


Figura 29 – Esquema do molde utilizado para ancorar e selar as bainhas nos provetes

Para acoplar os provetes ao dispositivo, passar-se-ão varões de aço roscado M24 (24 mm de diâmetro externo) pelas bainhas e fixar-se-ão ao dispositivo com porcas e anilhas.

Por fim, para colocar o conjunto e submetê-lo à tração, utilizar-se-á no pórtico de ensaio um conjunto de pinças de ensaiar aço, dotando portanto os dispositivos de uns varões roscados M16 verticais, ficando o aspeto final dos provetes e dispositivos completos conforme ilustrado na Figura 31.

O resultado final dos provetes preparados para o ensaio à tração encontra-se ilustrado na Figura 30.



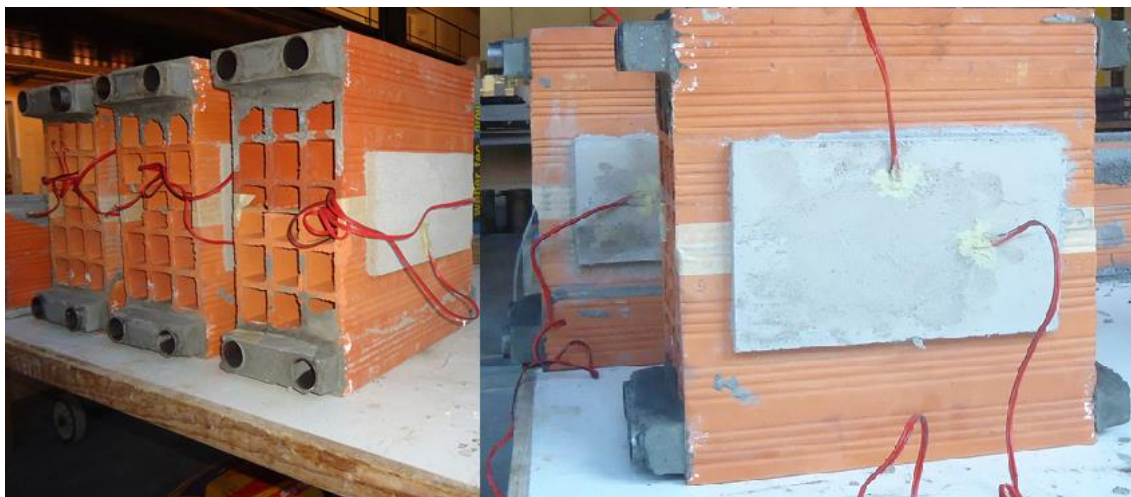


Figura 30 – Provete para ensaios à tração

Apesar dos ensaios de tração estarem devida e corretamente programados, houve situações imprevisíveis e incontornáveis que impossibilitaram a sua concretização que se prenderam, não só com os prazos de entrega dos materiais, do dispositivo e das bainhas, mas principalmente devido à extrema utilização do pórtico com três trabalhos inadiáveis e ao excesso de trabalho em que o técnico responsável pelo pórtico de ensaio se encontra envolvido. Contudo os provetes para os ensaios à tração encontram-se preparados pra serem submetidos ao ensaio, sendo a sua realização feita posteriormente no âmbito de uma investigação de doutoramento sobre um tema congénere e parcialmente simultâneo, já referida anteriormente. A Figura 31 ilustra o esquema do ensaio à tração que será realizado.

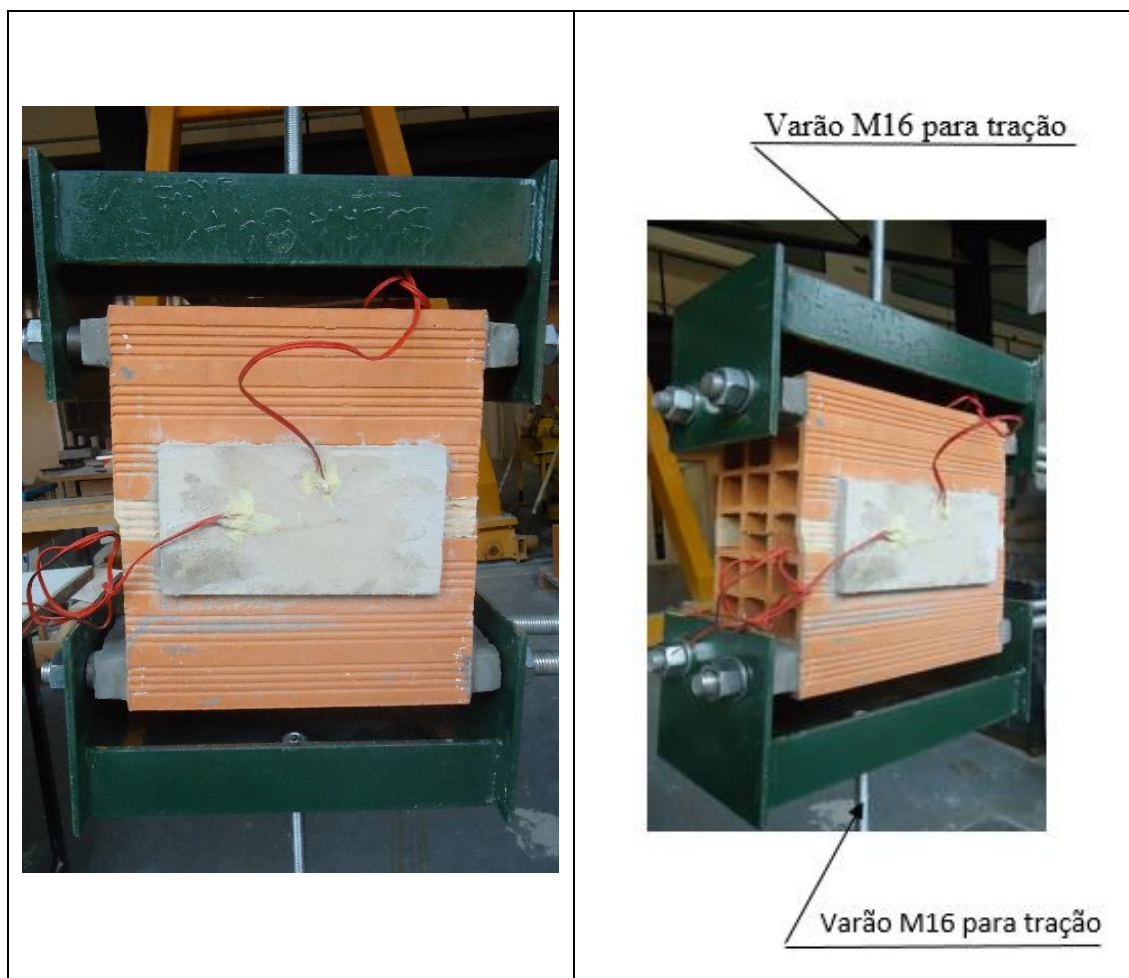


Figura 31 – Esquema do ensaio à tração

#### 4.4.2. Descrição dos ensaios à compressão

Na atividade experimental, os provetes foram ensaiados num sistema de ensaio composto por um pórtico metálico ancorado à laje de reação do laboratório de Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro – Figura 32 - e neste foi fixo um servo-atuador hidráulico de 300 kN de capacidade em compressão, 240 kN em tração e 250 mm de curso. A força e o deslocamento foram monitorizados por um computador e os resultados foram registados num documento Excel. Posteriormente analisaram-se os dados e elaboraram-se gráficos Força-Deslocamento e Tensão-Deslocamento, que serão abordados mais à frente nesta dissertação.



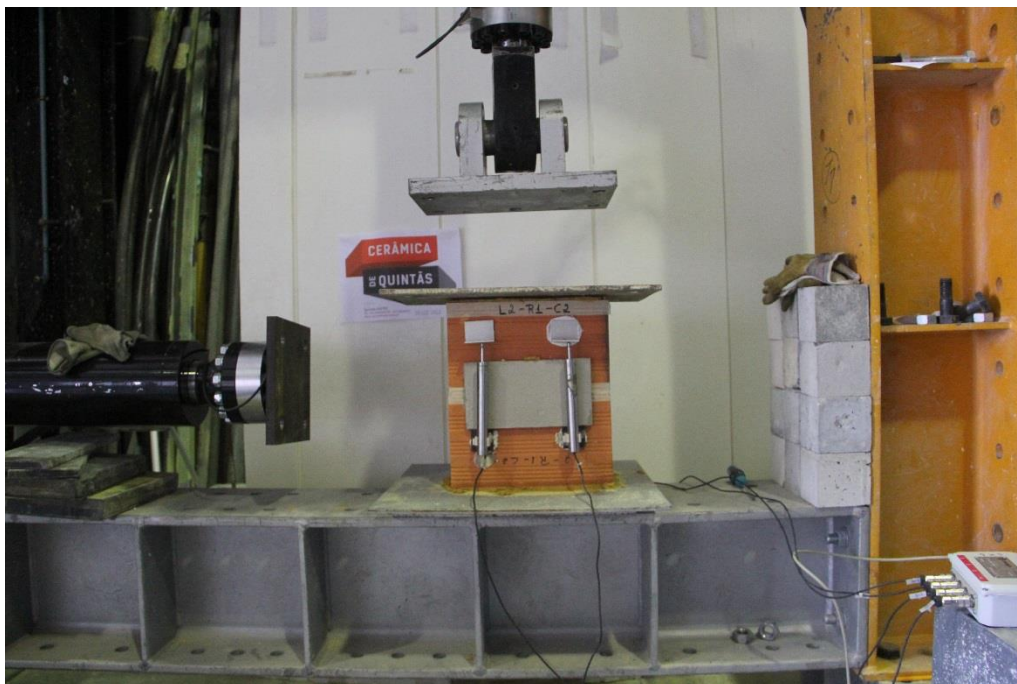


Figura 32 – Sistema de ensaio presente no laboratório do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Os provetes foram instrumentados com recurso a LVDT's – Figura 33 - (Linear Variable Distance Transducer) de 25 mm de curso.



Figura 33 – LVDT's utilizados nos provetes ensaiados à compressão

Os LVDT's foram colocados nos provetes como ilustra a Figura 34, sendo que L10 e L16 passam a ser denominados de “LVDT's Frente” e L13 e L17 de “LVDT's Trás”.

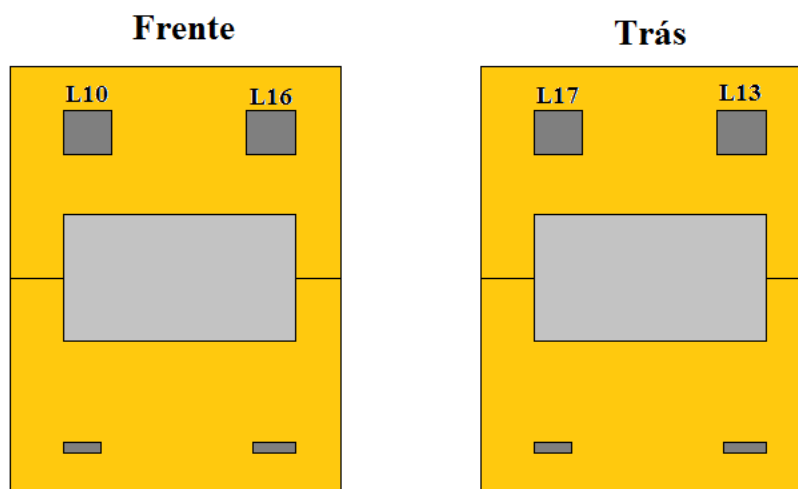


Figura 34 – Esquema da colocação dos LVDT's nos provetes

Como já foi referido anteriormente, foram elaborados 14 provetes, 2 com reparação numa face e 12 com reparação nas duas faces, no entanto só foram ensaiados à compressão 11 provetes pois as reparações de três provetes com reparação nas duas faces descolaram antes do ensaio.

Os provetes foram colocados no sistema de ensaio sobre uma cama de areia molhada e foi ainda colocada areia molhada e uma placa metálica na parte superior do provete de modo a distribuir a carga impulsionada pela máquina.

No primeiro provete a ser ensaiado, foi utilizada uma célula de carga de 25 kN, no entanto durante o ensaio não ocorreu rotura ou fissuração perto de se atingir os 25 kN de carga e, para não danificar a célula, decidiu-se interromper o ensaio e optou-se pela utilização de uma célula de carga de 300 kN para os restantes provetes. A partir do terceiro ensaio foram ainda implementados incrementos de carga de 1 em 1 mm parando o ensaio durante 30 segundos para análise do provete e possíveis ocorrências, pois concluiu-se que sem paragens era difícil a perceção das ocorrências no mesmo.

A Figura 35 ilustra o ensaio à compressão.

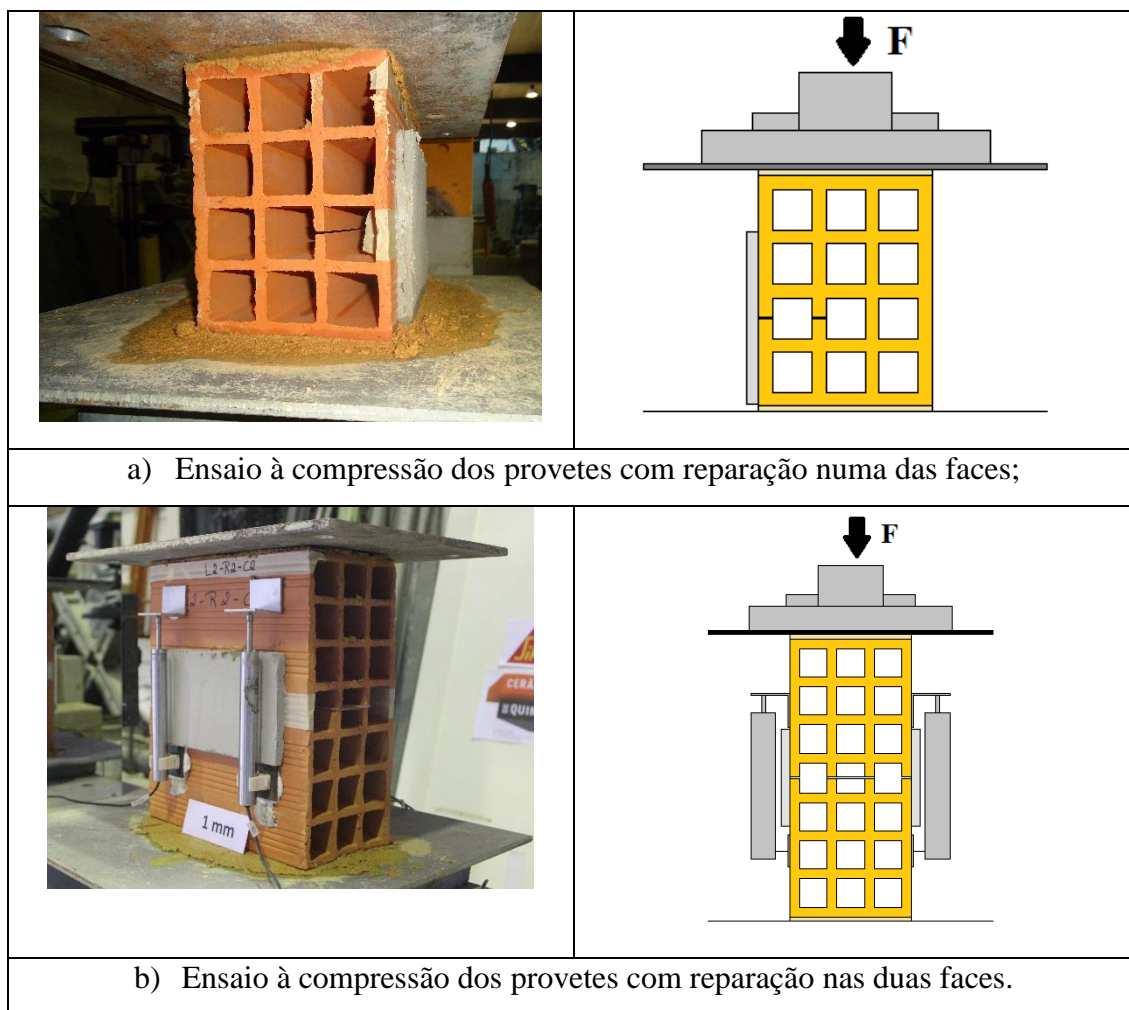


Figura 35 – Esquema dos ensaios de compressão

Durante a execução dos ensaios observaram-se dois tipos de ocorrências – Figura 36: primeiro rompem os septos horizontais e só depois os verticais e que na maioria dos provetes com reparação nas duas faces uma das reparações descolava inteira e só a outra fissurava.

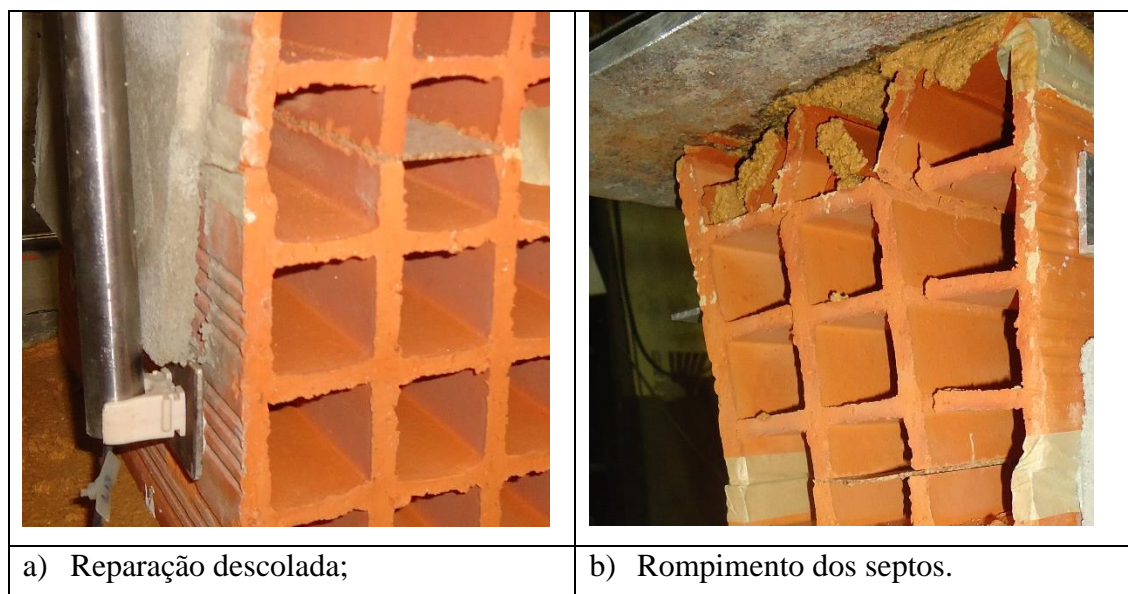


Figura 36 – Ocorrências observadas

#### 4.4.3. Instrumentação

##### 4.4.3.1. Extensometria

As estruturas em alvenaria sofrem tensões e deformações que devem ser estudadas. A extensometria é uma técnica utilizada para a análise dessas tensões e deformações.

O princípio de funcionamento dos extensômetros baseia-se no facto que a resistência elétrica varia em função da deformação a que o condutor está sujeito, algo descoberto por Lord Kelvin em 1856. Um extensómetro é um mecanismo frágil constituído por um fio de metal muito fino colocado numa folha igualmente fina de modo a formar uma grelha – Figura 37 - e cujos terminais devem ser soldados a cabos de ligação que permitam a ligação do extensómetro a um aparelho medidor – Figura 38 (Valido & Silva, 1997).

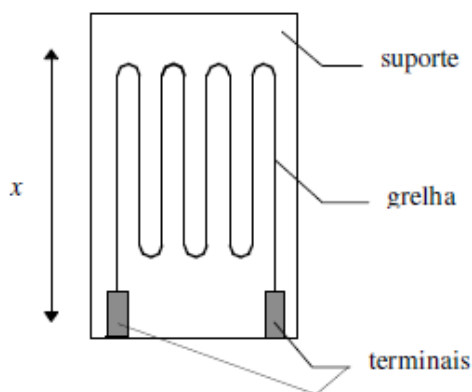


Figura 37 – Representação esquemática de um extensómetro (Valido &amp; Silva, 1997)





Figura 38 – Extensómetros utilizados na atividade experimental soldados a cabos de ligação

Tipicamente, os extensómetros são construídos com resistências variáveis, ou seja, há uma resistência dentro que muda de valor conforme o material se modifica. Podem ser medidas as tensões de tração ou compressão mas também se podem medir os efeitos de forças torsionais. Para medir a resistência, dependendo da precisão do instrumento, utiliza-se um circuito elétrico mais ou menos complexo que se liga ao data logger (ou outro instrumento de medição, por exemplo um computador com uma placa de dados). Os valores medidos (normalmente tensões que têm que ser convertidas para distancias ou diretamente valores numéricos) podem ser utilizados ou para saber distâncias ou variações de distância, dependendo do tipo de instrumento.

Os extensómetro devem ser colados ou embebidos no suporte a estudar, paralelamente à direção que interessa no estudo das deformações e/ou tensões.

Na atividade experimental foram elaborados seis provetes com reparação nas duas faces em que foram embebidos, apenas numa das reparações, dois extensómetros. Estes extensómetros, que foram previamente soldados a cabos de ligação, foram colocados no centro da reparação, perpendicularmente, de modo a obter informação de deformações nas duas direções, tal como mostra a Figura 39. Devido à finura dos fios dos extensómetros e à frágil soldadura dos cabos de ligação foi ainda colocada uma cola para evitar a separação dos fios.

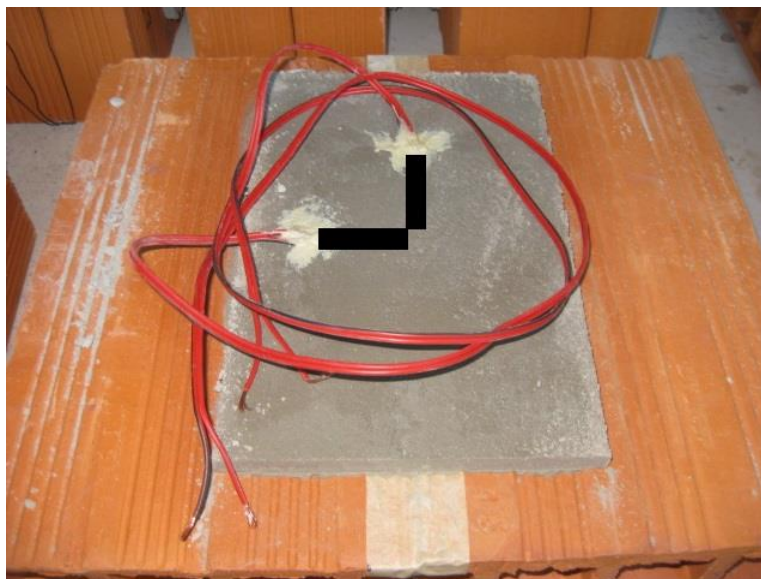


Figura 39 – Imagem representativa da colocação dos extensômetros nas reparações dos provetes

#### 4.4.3.2. LVDT's

O Transformador Diferencial Variável Linear, mais conhecido por LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*) é um aparelho metálico, constituído por três bobinas e um núcleo cilíndrico, utilizado na medição de deslocamentos lineares. Uma das bobinas é denominada primária e as outras duas de secundárias, tal como exemplifica a Figura 40.

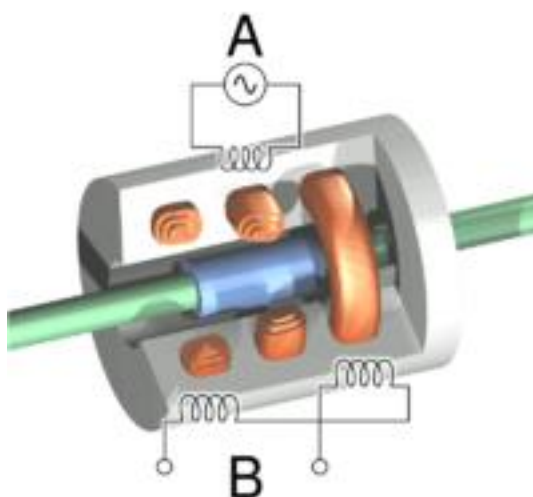


Figura 40 – Ilustração do interior de um LVDT em que A é a bobina principal e B são as bobinas secundárias (Wikipédia, 2015b)

O LVDT é colocado sobre o suporte que, no caso desta dissertação, se trata de um provete, e é ligado a um aparelho medidor que vai converter a informação dada pelo LVDT. Para ocorrer esta medição, é aplicada uma corrente alternada no LVDT, mais diretamente na

bobina principal que induz uma tensão nas bobinas secundárias. Existe um núcleo de ferro que não se encontra fixo e sem atrito, sensível às deformações que ocorrem no suporte. Quando o núcleo está centrado, as tensões nas duas bobinas de saída (secundárias) é igual, logo anulam-se mutuamente porém, assim que ocorre uma deformação, o núcleo move-se para um lado ou para o outro e a tensão aumenta numa bobina e diminui na outra devido às interações eletromagnéticas entre elas, sendo que quanto maior o deslocamento do núcleo, maior a tensão que é medida na saída (Instruments, 2015).

Na atividade experimental, para os ensaios à compressão, foram utilizados quatro LVDT's para cada provete com reparação nas duas faces, dois para cada uma das faces, posicionados paralela e perpendicularmente ao sentido da carga – Figura 41.



Figura 41 – Colocação dos LVDT's nos provetes

## **4.5. Síntese dos Resultados**

### **4.5.1. Resultados Globais**

Como se pode verificar na Tabela 11, houve provetes que quebraram ou cujas reparações descolaram antes de ocorrer o ensaio. Na grande maioria dos ensaios em que ocorreu a rotura do tijolo, a reparação de uma das faces descolou pelo menos de um dos tijolos

constituintes do provete e a reparação da outra face fissurou devido à quebra dos septos dos tijolos nesse lado da reparação.

Relativamente aos ensaios dos provetes com reparação em apenas uma das faces, as reparações descolaram da parte superior da fissura e mantiveram-se assim até à rotura do tijolo. Posteriormente nesta dissertação serão abordados os ensaios individualmente.

<b>Proвете</b>	<b>Designação</b>	<b>Largura da faixa de dessolidarização (cm)</b>	<b>Largura da reparação (cm)</b>	<b>Comprimento da reparação (cm)</b>	<b>Rede de fibra de vidro (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Célula de Carga (kN)</b>	<b>Ocorrência</b>
Compressão	L1-R1-C1	3,5	10	23	110	-	Descolou antes de ser ensaiado
	L1-R1-C2	3,5	10	23	110	300	Rotura do tijolo
	L2-R1-C1	3,5	12	23	110	25	Ensaio interrompido
	L2-R1-C2	3,5	12	23	110	300	Rotura do tijolo
	L3-R1-C1	3,5	15	23	110	300	Rotura do tijolo
	L3-R1-C2	3,5	15	23	110	300	Rotura do tijolo
	L1-R2-C1	3,5	10	23	160	-	Descolou antes de ser ensaiado
	L1-R2-C2	3,5	10	23	160	300	Rotura do tijolo
	L2-R2-C1	3,5	12	23	160	-	Descolou antes de ser ensaiado
	L2-R2-C2	3,5	12	23	160	300	Rotura do tijolo
	L3-R2-C1	3,5	15	23	160	300	Rotura do tijolo
	L3-R2-C2	3,5	15	23	160	300	Rotura do tijolo
	1-L3-R1-C1	3,5	15	23	110	30	Rotura do tijolo
	1-L3-R2-C1	3,5	15	23	160	300	Rotura do tijolo

Tabela 11 – Resultados globais do ensaio à compressão



#### 4.5.2. Resultados individuais

- **Proвете 1-L3-R1-C1:**

A reparação descolou-se da parte superior do tijolo permitindo aos septos cortados que se juntassem deixando de simular a fissura – Figura 42, ocorrendo a rotura do tijolo sem qualquer influência na reparação.

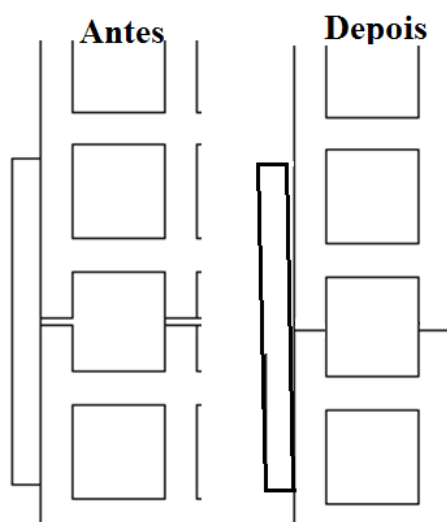


Figura 42 – Esquema da ocorrência do ensaio

Na Tabela 12 encontram-se os valores para os quais ocorreu o descolamento da reparação e a rotura do tijolo, sendo que os gráficos obtidos no ensaio se encontram na Figura 43.

Carga de Descolagem:	12,18344 kN
Tensão de Descolagem da Reparação:	5,297147 MPa
Carga de Rotura:	30,3663 kN
Tensão de Rotura do Tijolo:	0,698076 MPa

Tabela 12 – Resultados do ensaio do provete 1-L3-R1-C1

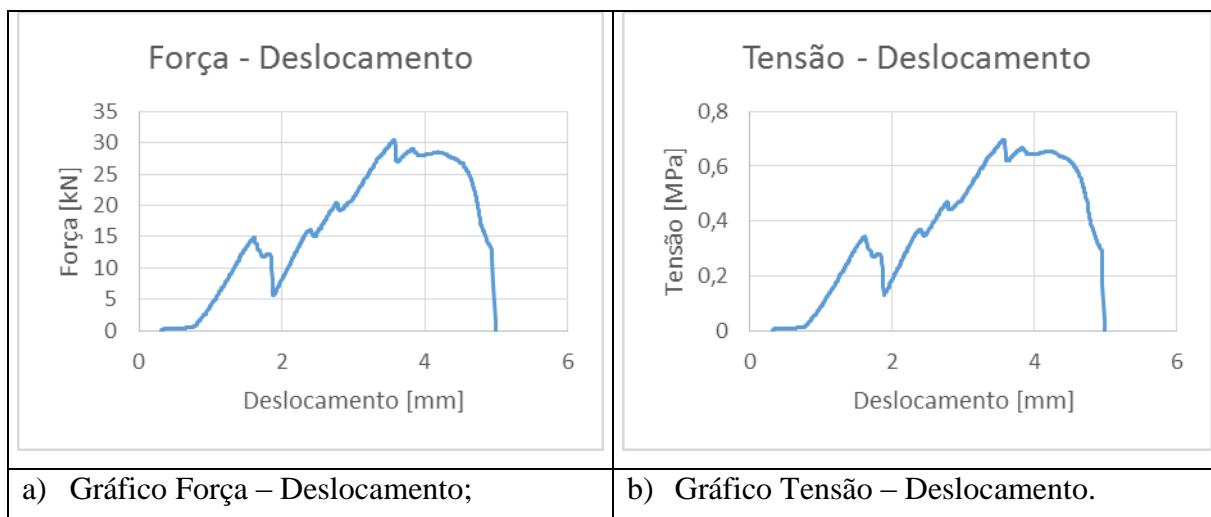


Figura 43 – Gráficos dos resultados do ensaio

- **Provete 1-L3-R2-C1:**

Os resultados obtidos neste ensaio são semelhantes aos do ensaio do provete 1-L3-R1-C1, estando ilustrado na Figura 44 o aspeto final do provete em que se pode verificar que a reparação se encontra intacta.



Figura 44 – Aspeto do provete no fim do ensaio

Os valores para os quais ocorreu o descolamento e a rotura encontram-se na Tabela 13 e os gráficos dos resultados na Figura 45. Conclui-se através destes dois ensaios que a reparação em apenas um lado do provete não é viável, pelo menos na forma como foi

elaborado para a presente dissertação, pois a argamassa de reparação suporta mais carga que o tijolo e a reparação irá descolar-se.

Carga de Descolagem:	7,115938 kN
Tensão de Descolagem da Reparação:	3,093886 MPa
Carga de Rotura:	26,23072 kN
Tensão de Rotura do Tijolo:	0,603005 MPa

Tabela 13 – Resultados do ensaio do provete 1-L3-R2-C1

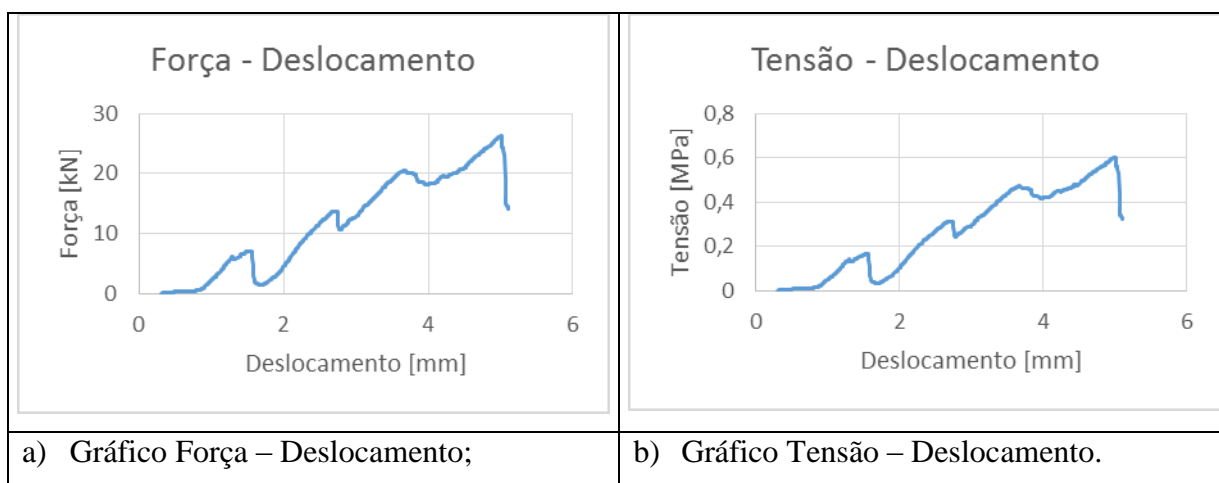


Figura 45 – Gráficos dos resultados do ensaio

- **Proвете L1-R1-C2:**

O provete L1-R1-C2 foi o segundo a ser ensaiado, numa fase em que ainda não tinham sido implementados os incrementos de 1 mm com paragem de 30 segundos, logo o ensaio ocorreu com uma velocidade muito grande, não sendo possível observar o momento exato no qual ocorreu a fissuração da reparação de um dos lados, sendo que a reparação da outra face se manteve intacta. O aspeto do provete no final do ensaio encontra-se ilustrado na Figura 46.

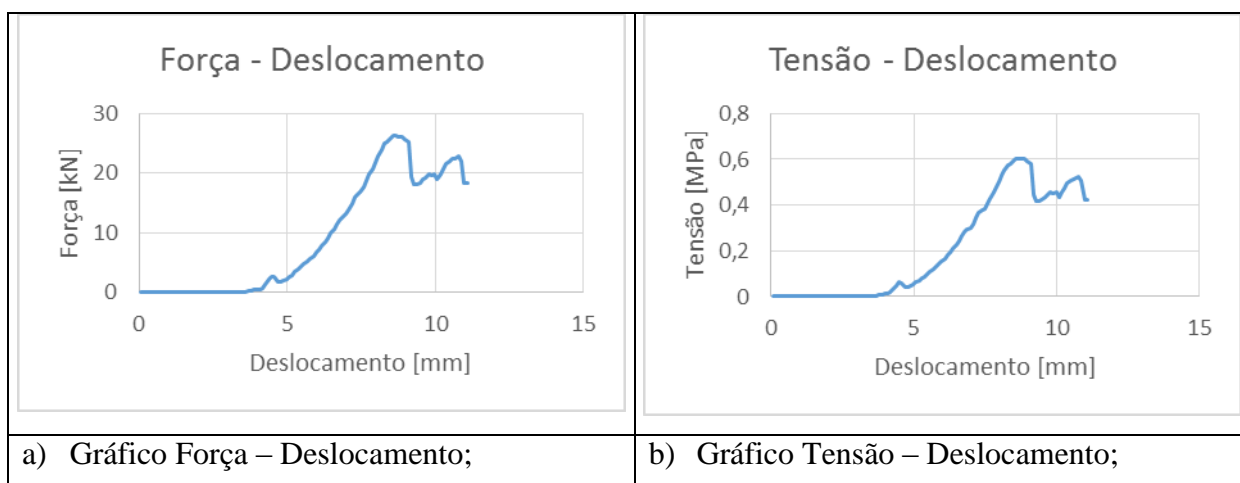


Figura 46 – Aspeto do provete no final do ensaio

Na Tabela 14 encontram-se os valores para os quais ocorreu a rotura do tijolo e na Figura 47 os gráficos com os resultados obtidos pelo ensaio. Os resultados para os LVDT's da frente (L10 e L16) foram excluídos pois os valores não eram corretos nem a configuração dos gráficos era a esperada.

Carga de Rotura:	26,31408 kN
Tensão de Rotura do Tijolo:	0,604921 MPa

Tabela 14 – Resultados do ensaio do provete L1-R1-C2



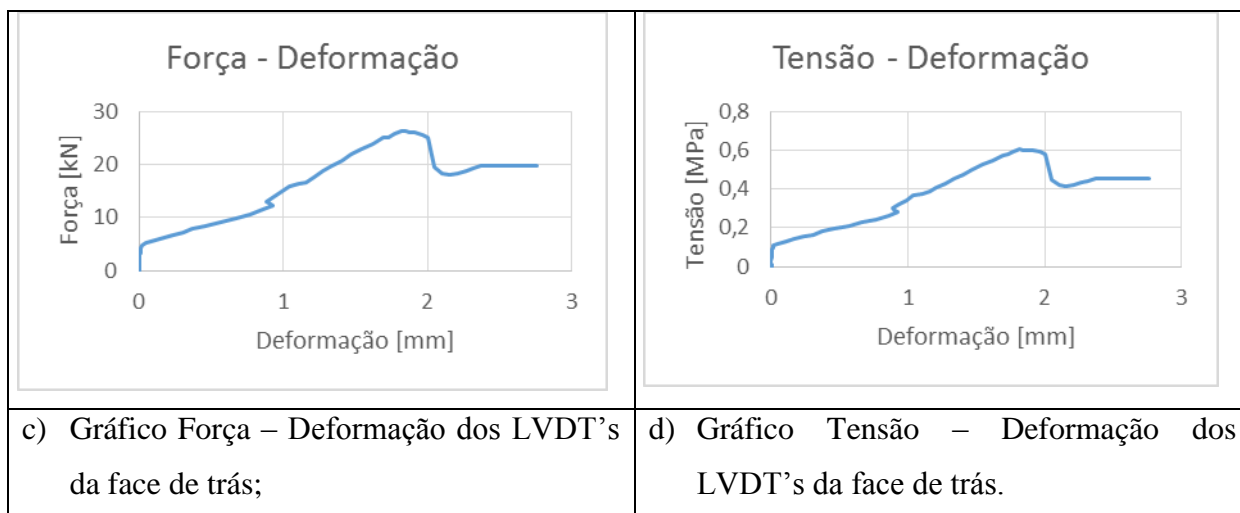


Figura 47 – Gráficos dos resultados do ensaio

- **Proвете L1-R2-C2:**

As reparações do provete L1-R2-C2 não sofreram qualquer tipo de fissuração durante o ensaio e apenas a reparação da face da frente do provete descolou, sendo que a reparação da face de trás se manteve intacta tal como ilustra a Figura 48.



Figura 48 – Aspeto do provete no final do ensaio

O ensaio terminou no nono incremento (9 mm de deslocamento) com a rotura do tijolo. Os valores para os quais ocorreu essa rotura encontram-se na Tabela 15 e os gráficos com os resultados dos ensaios estão ilustrados na Figura 49.

Carga de Rotura:	42,60631 kN
Tensão de Rotura do Tijolo:	0,979455 MPa

Tabela 15 – Resultados do ensaio do provete L1-R2-C2

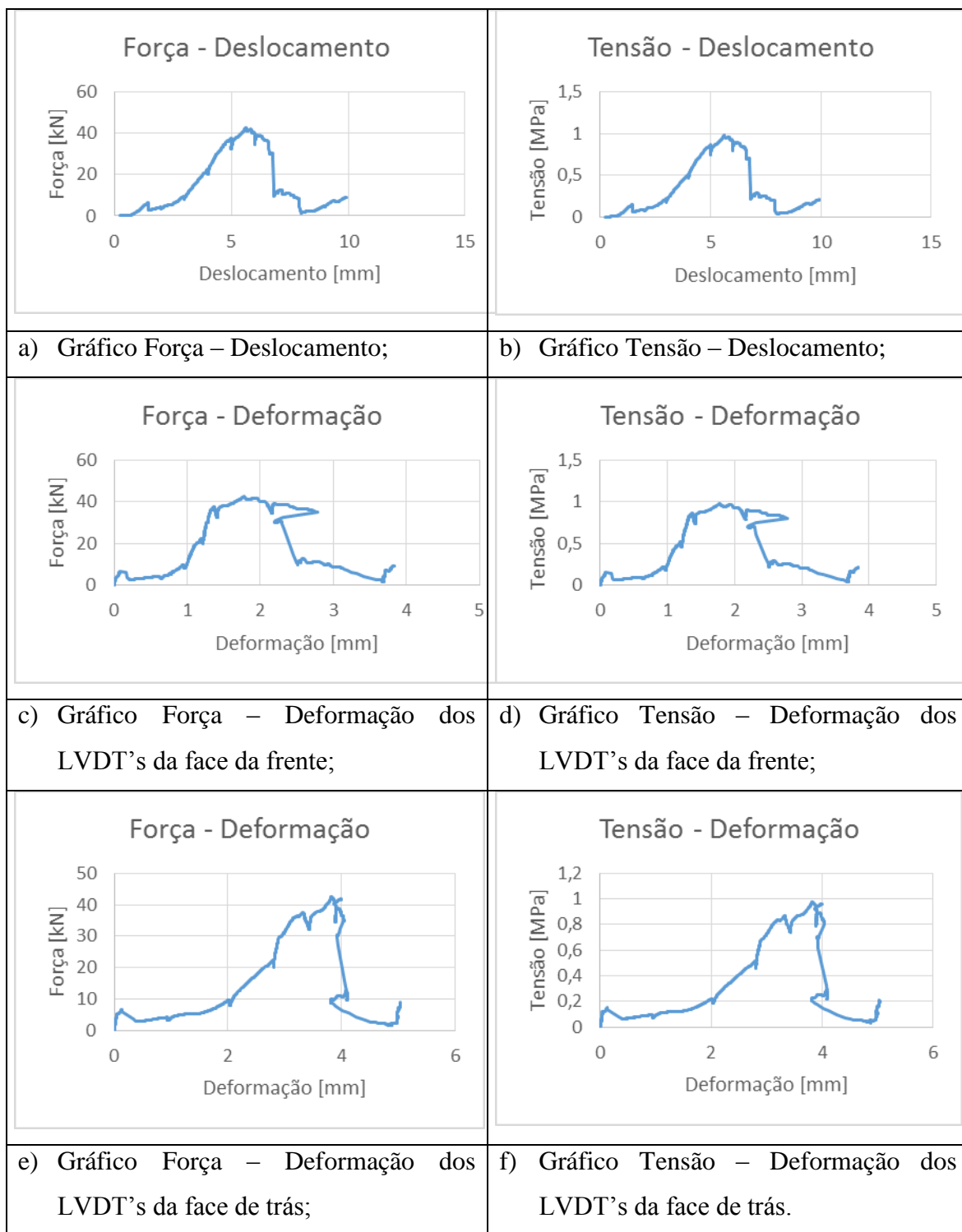


Figura 49 – Gráfico dos resultados do ensaio

- **Provete L2-R1-C1:**

Como já foi referido anteriormente, este foi o primeiro provete a ser ensaiado e foi utilizada uma célula de carga de 25 kN. Como não ocorreu qualquer fissuração ou rutura perto dos 25 kN de carga e de modo a não danificar a célula o ensaio foi interrompido para



se poder alterar a célula de ensaio para uma de 300 kN e o provete não voltou a ser ensaiado pois já tinha sido sujeito a cargas que poderiam influenciar os valores de um novo ensaio.

- **Provete L2-R1-C2:**

No decorrer do ensaio deste provete ocorreu a fissuração da reparação da face de trás do provete devido ao colapso dos septos, no entanto a reparação da face da frente manteve-se intacta tal como ilustra a Figura 50.

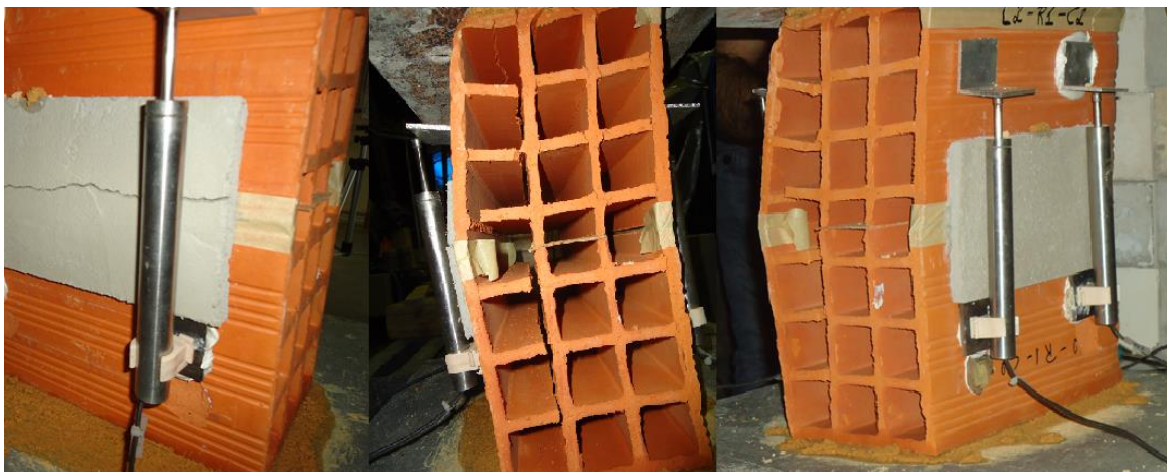
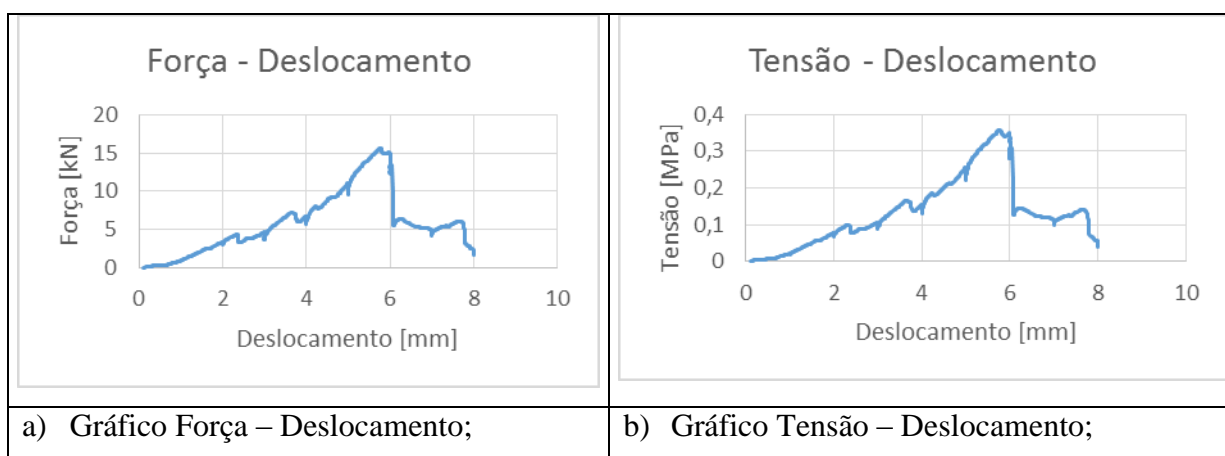


Figura 50 – Aspeto do provete no final do ensaio

Os valores para os quais ocorreu a rotura encontram-se na Tabela 16 e os gráficos com os resultados do ensaio estão ilustrados na Figura 51.

Carga de Rotura:	15,60147 kN
Tensão de Rotura do Tijolo:	0,358655 MPa

Tabela 16 – Resultados do ensaio do provete L2-R1-C2



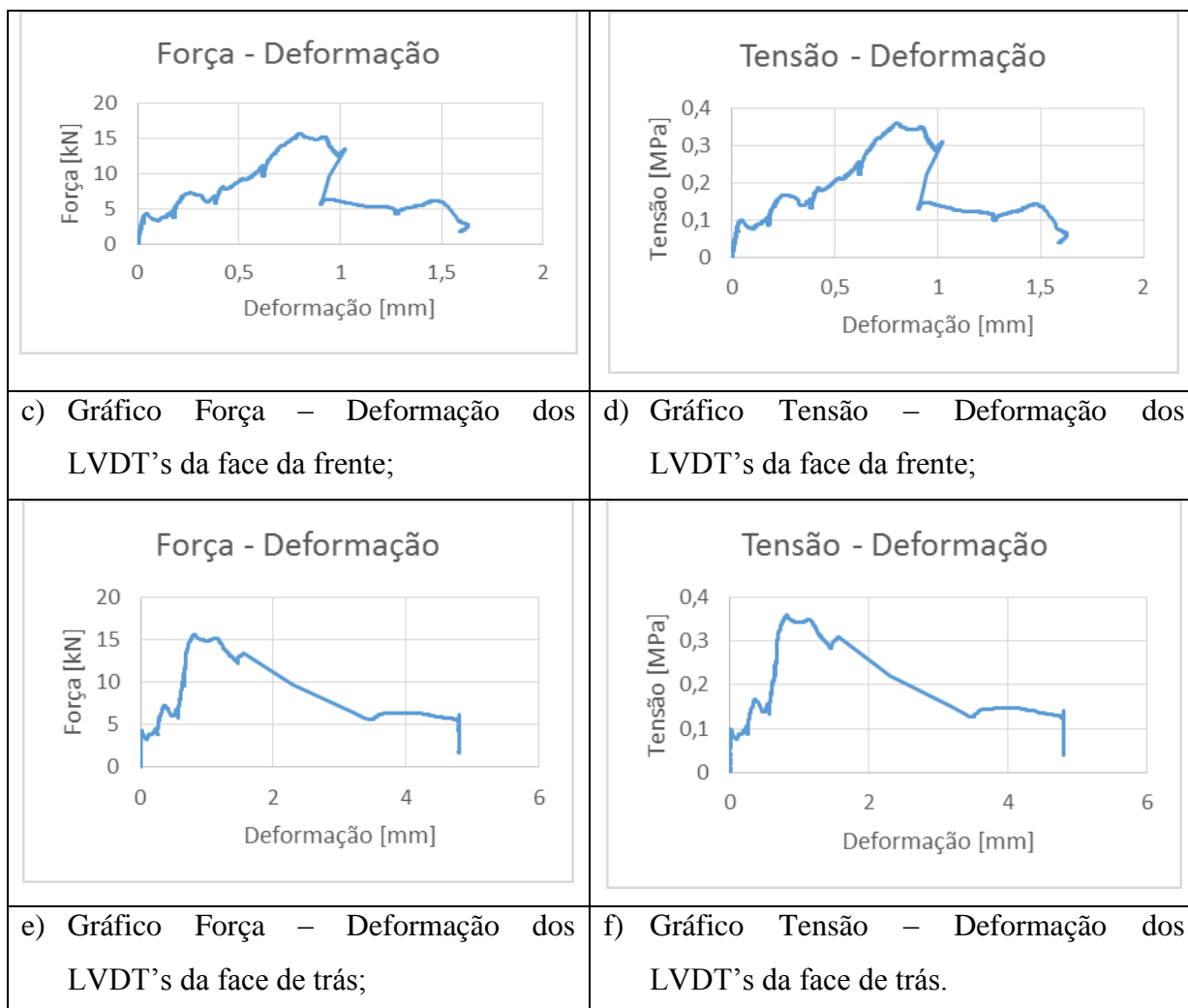


Figura 51 – Gráficos dos resultados do ensaio

- **Provete L2-R2-C2:**

As reparações do provete L2-R2-C2 não sofreram qualquer tipo de fissuração, sendo que apenas uma das reparações descolou enquanto a outra se manteve intacta. A rotura ocorreu no quinto incremento (5 mm de deslocamento). A Tabela 17 contém os valores para os quais ocorreu a rotura do tijolo e na Figura 52 estão representados os gráficos resultantes do ensaio.

Carga de Rotura:	27,60329 kN
Tensão de Rotura do Tijolo:	0,6345583 MPa

Tabela 17 – Resultados do ensaio do provete L2-R2-C2



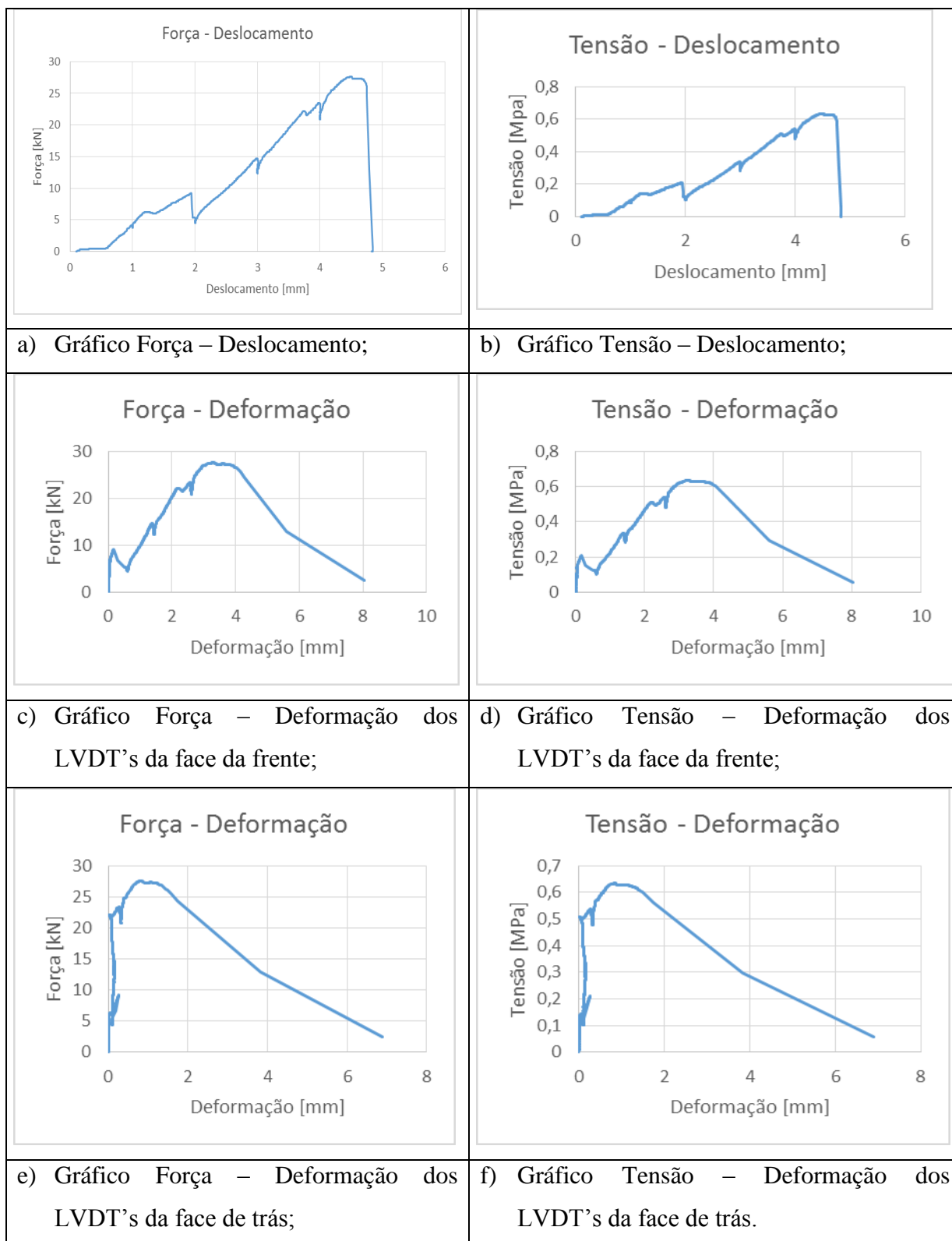


Figura 52 – Gráficos dos resultados do ensaio

- **Provete L3-R1-C1:**

A reparação da face de trás deste provete descolou ao quinto incremento (5 mm de deslocamento) e a rotura do provete deu-se no sétimo incremento (7 mm de deslocamento). A reparação da face da frente sofreu fissuração ao longo da fissuração simulada no provete. A Figura 53 ilustra o estado das reparações no fim do ensaio.



Figura 53 – Estado das reparações no fim do ensaio

Não serão considerados os resultados dos LVDT's pois os resultados não se enquadram nos gráficos padrão provavelmente porque se deslocaram da posição durante o ensaio. Na Tabela 18 encontram-se os valores da rotura do tijolo e na Figura 54 os gráficos referentes a este ensaio.

Carga de Rotura:	18,14415 kN
Tensão de Rotura do Tijolo:	0,417107 MPa

Tabela 18 – Resultados do ensaio do provete L3-R1-C1

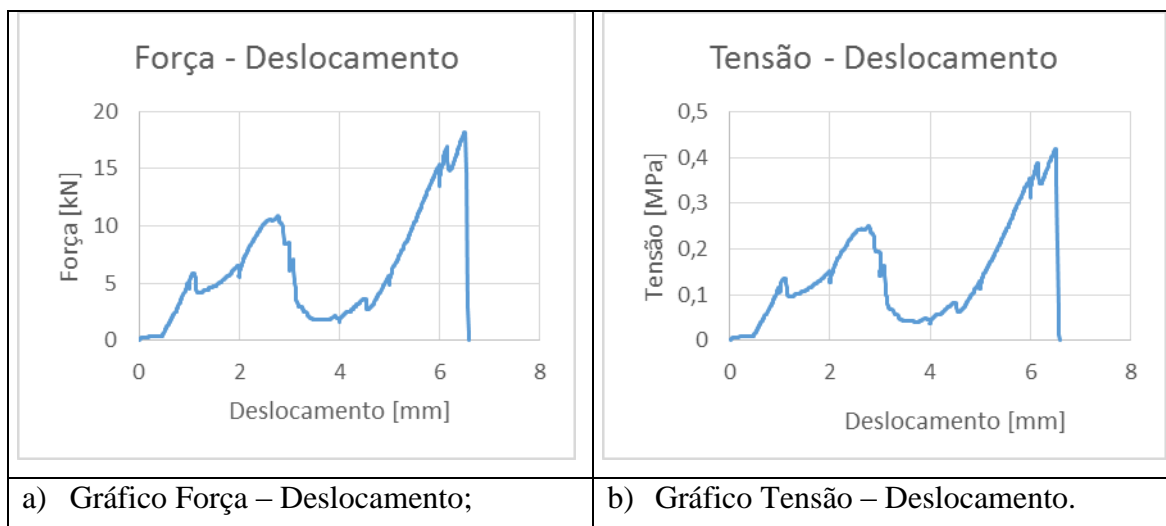


Figura 54 – Gráficos dos resultados do ensaio

- **Provete L3-R1-C2:**

No quarto incremento do ensaio (4 mm de deslocamento) ocorreu a descolagem da reparação da face de trás do provete e a fissuração da reparação da face da frente do mesmo, deixando os LVDT's desta face de funcionar e por esse motivo serão excluídos deste estudo. A rotura do tijolo ocorreu no sexto incremento (6 mm de deslocamento). A Figura 55 ilustra o resultado final das reparações.

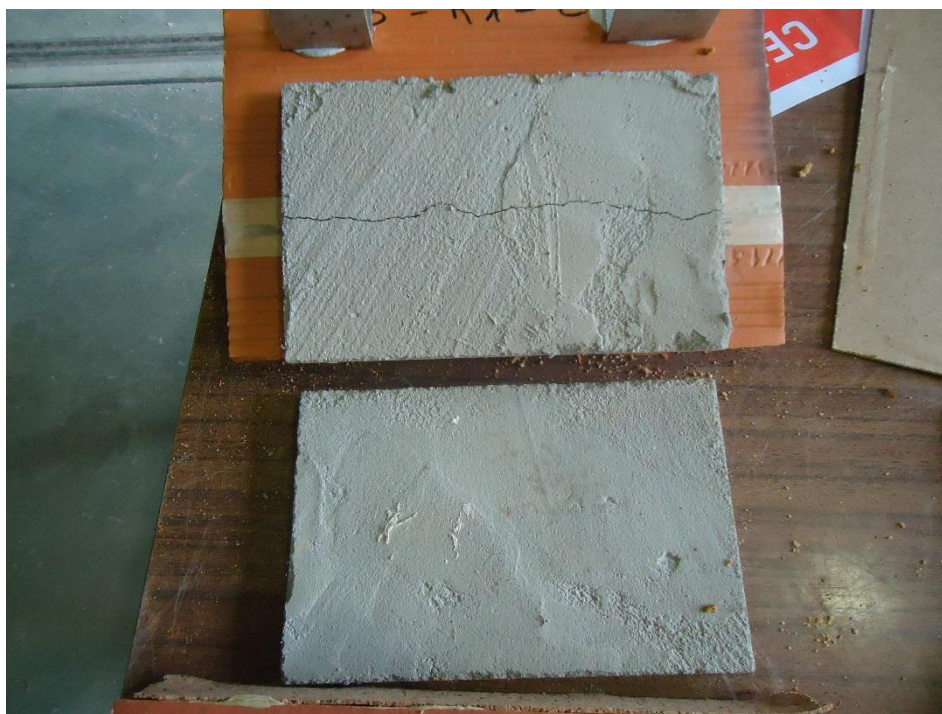


Figura 55 – Aspeto das reparações após terem sido ensaiadas

A Tabela 19 contém os resultados da rotura do tijolo e a Figura 56 os gráficos obtidos pelos dados fornecidos no ensaio.

Carga de Rotura:	30,274 kN
Tensão de Rotura do Tijolo:	0,695954 MPa

Tabela 19 – Resultados do ensaio do provete L3-R1-C2

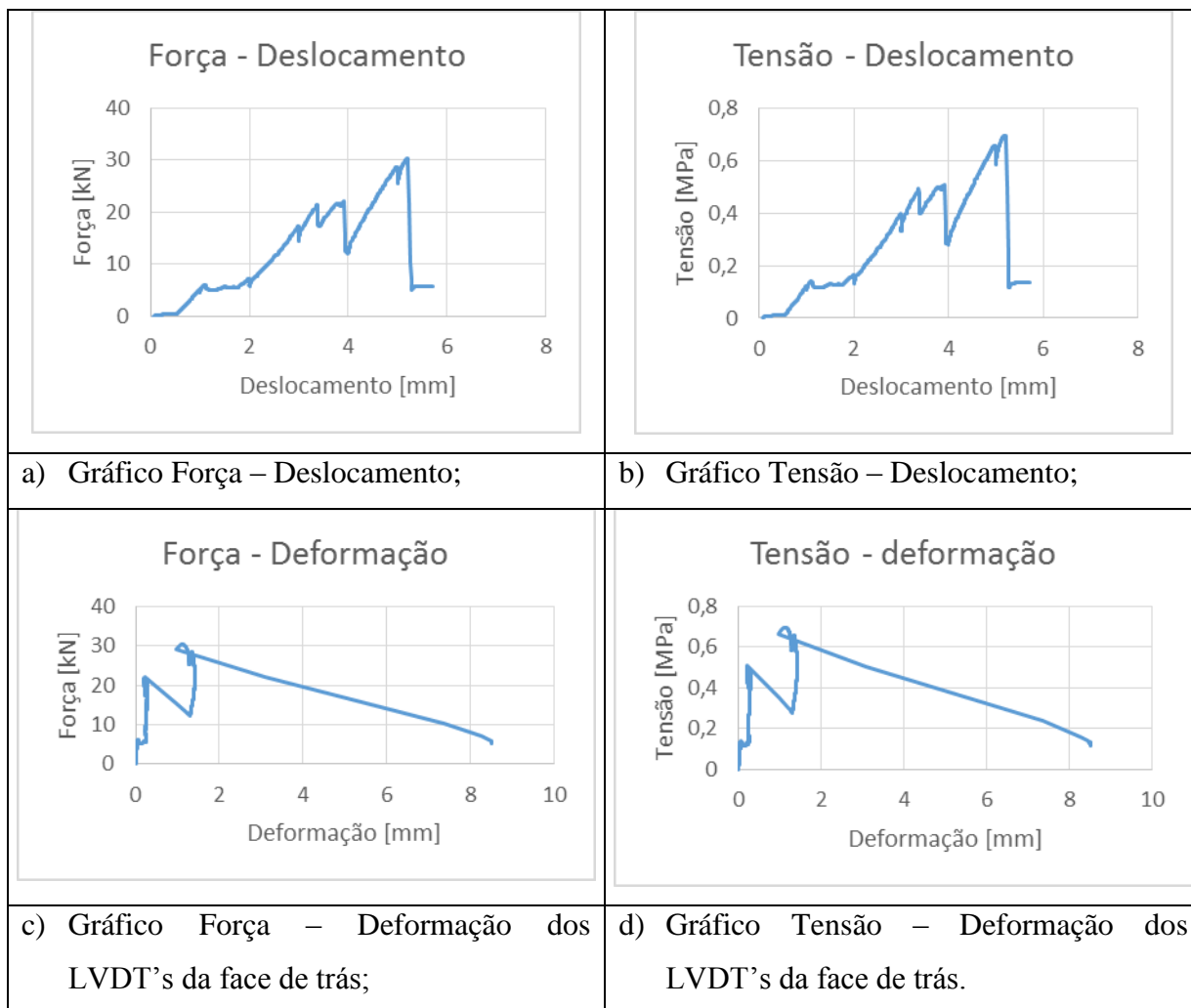


Figura 56 – Gráficos dos resultados do ensaio

- **Proвете L3-R2-C1:**

No quarto incremento do ensaio (4 mm de deslocamento) ocorreu a fissuração da reparação da face de trás do provete – Figura 57 - e ao sexto incremento (6 mm de deslocamento) ocorreu a rutura do tijolo. A reparação da face da frente do provete apenas descolou, mantendo-se intacta.

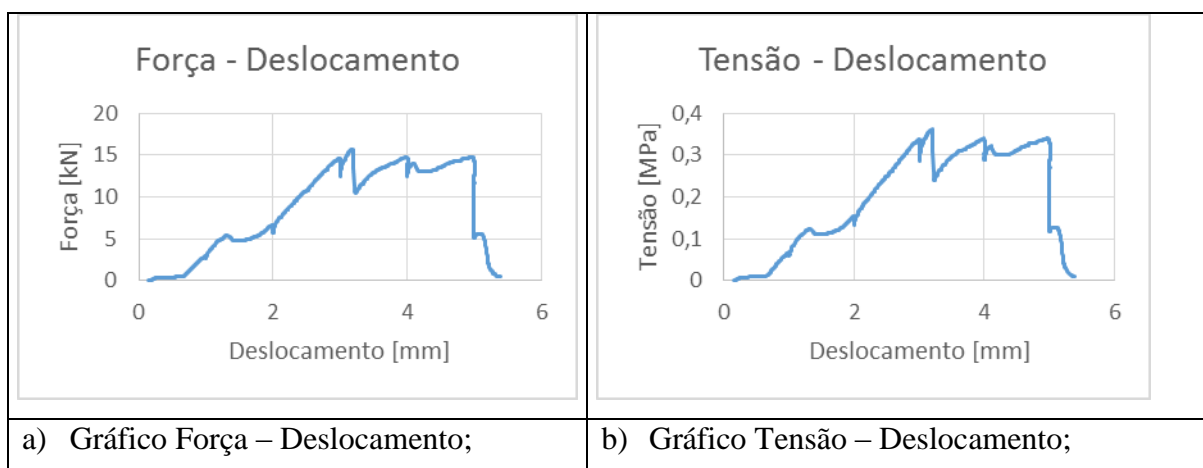


Figura 57 – Aspeto final da reparação da face de trás do provete

Na Tabela 20 encontram-se os valores da tensão e carga de rotura do tijolo e na Figura 58 estão os gráficos obtidos com os dados retirados do ensaio. Os valores fornecidos pelos LVDT's da face de trás foram excluídos pois os aparelhos soltaram-se a meio do ensaio.

Carga de Rotura:	15,72057 kN
Tensão de Rotura do Tijolo:	0,361392 MPa

Tabela 20 – Resultados do ensaio do provete L3-R2-C1





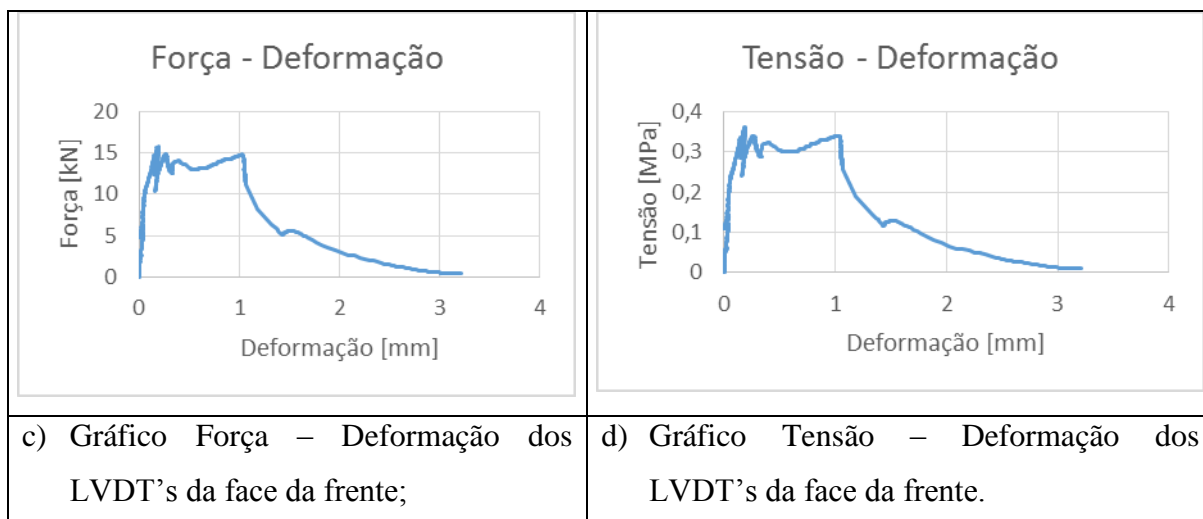


Figura 58 – Gráficos dos resultados dos ensaios

- **Provete L3-R2-C2:**

No quarto incremento do ensaio (4 mm de deslocamento) ocorre a fissuração da reparação da face da frente do provete – Figura 59 - e no quinto incremento (5 mm de deslocamento) ocorre a rutura do tijolo. A reparação da face de trás do tijolo mantém-se intacta apenas descolando de um dos tijolos que constitui o provete.



Figura 59 – Aspeto da reparação da face da frente após o ensaio

A Tabela 21 contém os resultados do ensaio e a Figura 60 os gráficos retirados através dos resultados. Relativamente aos resultados obtidos pelos LVDT's da face de trás do provete, foram excluídos pois os gráficos não têm a configuração padrão que deveriam ter.

Carga de Rotura:	20,797 kN
Tensão de Rotura do Tijolo:	0,478092 MPa

Tabela 21 – Resultados do ensaio do provete L3-R2-C2

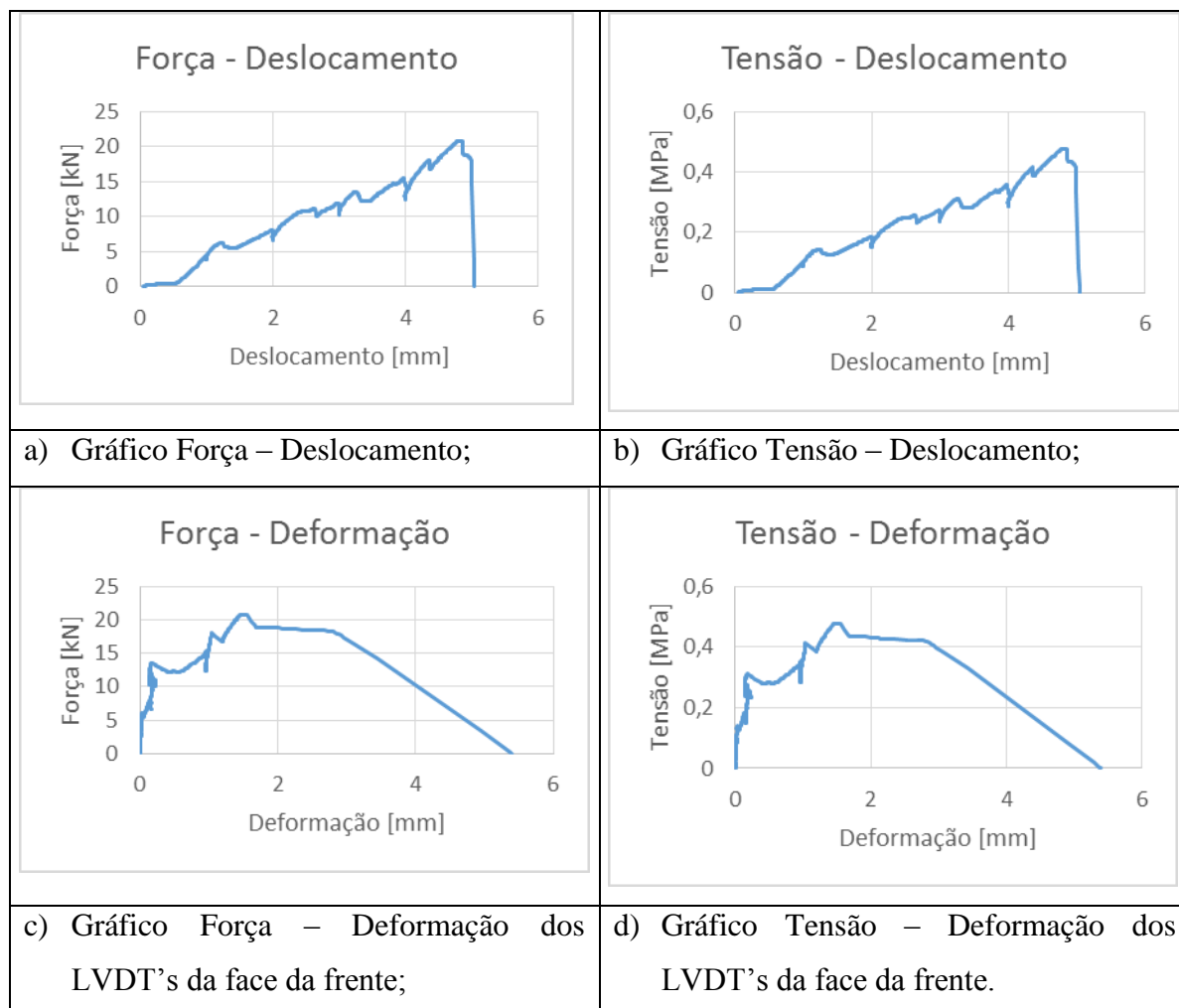


Figura 60 – Gráficos dos resultados dos ensaios

#### 4.5.3. Nota Conclusiva

O provete que apresentou melhores resultados foi o L1-R2-C2, cuja banda de argamassa tem 10 cm de largura e a rede de fibra de vidro é de  $160 \text{ g/m}^2$ , pois as reparações não fissuraram e a carga de rutura foi a mais elevada ultrapassando os 40 kN. No entanto, os provetes com 15 cm de largura de reparação foram todos ensaiados sem que tenha ocorrido descolamento da reparação antes do ensaio e conclui-se que a reparação do lado menos esforçado descolava enquanto a do lado mais esforçado fissurava, principalmente devido à quebra dos septos. Relativamente à rede de fibra de vidro, as diferenças são quase nulas,

sendo os resultados similares nos provetes quer com armadura de  $110 \text{ g/m}^2$  quer nos que têm armadura de  $160 \text{ g/m}^2$ .

Como já foi referido, a argamassa é muito mais resistente que o tijolo, logo as reparações poderiam e deveriam ser de menores dimensões, pois trata-se de uma argamassa de baixa retração. Idealmente deveria ser obtida uma argamassa com uma retração controlada da ordem dos  $0,25 \text{ mm/m}$  e não uma argamassa não retrátil, obrigatoriamente de alta resistência.

Cabe ressaltar que os ensaios dos provetes com reparação em apenas uma das faces, fissura apenas em dois septos e o restante tijolo íntegro foram meramente de investigação, já que a ocorrer na realidade uma fissuração deste tipo estaríamos perante uma fissura estabilizada, o que não é o mote desta dissertação, principalmente porque é discutível a eventual razão de uma fissura deste tipo.



## **Capítulo 5 - Considerações Finais**

### **5.1. Síntese Geral**

Esta dissertação, realizada no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Civil da Universidade de Aveiro teve como tema principal a fissuração de alvenarias, focando essencialmente a técnica de reabilitação em “ponte” introduzida no trabalho experimental, técnica esta que se baseia essencialmente na intuição de quem a utiliza, devido ao lapso de material científico que a consubstancie.

No início deste trabalho, foi definido como objetivo principal a contribuição científica do mesmo para o desenvolvimento da técnica referida anteriormente, obtendo um conhecimento mais aprofundado sobre esta e as suas possíveis variáveis. Os objetivos secundários recaíam sobre a influência da largura da reparação e da armadura perante os esforços a que a alvenaria se encontra sujeita e para tal foram realizados ensaios à compressão de provetes em que alteravam estas variáveis.

Todo o trabalho, essencialmente a atividade experimental, foi sustentado por uma pesquisa bibliográfica presente ao longo dos três primeiros capítulos desta dissertação.

Os seguintes parágrafos resumem as conclusões e resultados obtidos por cada capítulo.

### **5.2. Conclusão e Cumprimento dos Objetivos**

Um dos objetivos iniciais da atividade experimental era ensaiar provetes à compressão e tração mas, tal como já foi referido e justificado, apenas se realizaram os ensaios à compressão. A quantidade de provetes elaborados para cada um dos ensaios foi significativo e foi possível retirar informações relevantes para o desenvolvimento da técnica em estudo.

O objetivo principal foi alcançado pois, mesmo só obtendo resultados do ensaio à compressão, uma vez que face à utilização dos LVDT's foi possível retirar novas informações relativamente a deformações, para além de que as reparações apresentaram um bom comportamento quando sujeitas a cargas tão elevadas, cargas essas a que uma parede de alvenaria não estrutural não deve ser sujeita.

Os objetivos individuais relativos à largura da reparação e da utilização da armadura foram também alcançados concluindo-se que, apesar dos melhores resultados terem sido obtidos num provete com reparação de largura de 100 mm, a largura ideal é de 150 mm pois

suporta as cargas a que está sujeita, fissurando apenas quando o tijolo entra em rotura. Quanto à armadura utilizada nas reparações e comparando os resultados dos provetes com a mesma largura mas armadura diferente, conclui-se que esta não tem muita influência, principalmente com a utilização de uma argamassa tão forte e que em pouco tempo de cura suporta mais cargas que o próprio tijolo.

Ainda que a argamassa não conste como variável no processo, é possível retirar algumas conclusões quanto à sua utilização:

- Apesar do fabricante ser omissivo, a aderência da argamassa é eficaz apenas se o suporte for intensamente humedecido, o que torna pouco prática a sua utilização em escala industrial, não só pela mão-de-obra utilizada para o humedecimento mas principalmente pelo tempo de espera;
- A argamassa utilizada é indicada para reparação de betão e tem características mecânicas finais muito superiores às características comerciais dos tijolos, não se tirando partido portanto da totalidade das propriedades da argamassa;
- Devido às capacidades da argamassa explícitas no ponto anterior, não seria necessário uma espessura tão elevada de reparação (10 mm) pois esta torna-se excessivamente mais resistente que o tijolo.

### **5.3. Perspetivas e Advertências para trabalhos futuros**

Finalizada a presente dissertação, importa referir algumas sugestões e perspetivas para trabalhos futuros que possam vir a complementar este estudo e a caracterizar o tema abordado. Desta forma, considera-se essencial a realização dos seguintes trabalhos:

- Realizar um ou vários trabalhos sobre as restantes variáveis não abordadas nesta dissertação, tais como, a espessura da reparação, a largura da banda de dessolidarização (já abordada em trabalhos anteriores mas com utilização de poucos provetes) e a argamassa alterando aspetos como a aderência, a baixa retratibilidade e a resistência;
- Não sendo necessária uma argamassa tão resistente como a utilizada neste trabalho, sugere-se o estudo e desenvolvimento de uma argamassa de baixa retração ou de retração controlada, principalmente na ordem dos 0,25 mm/m, com resistência ligeiramente superior à dos tijolos e utilizável para outros fins para além da reabilitação de fissuras, de modo a tornar-se economicamente viável;

- Realizar um trabalho em que se estude o desenvolvimento da fissura da reparação mais detalhadamente utilizando tecnologia de ponta, programas de elementos finitos, fotogrametria/vídeo extensometria, entre outros, de modo a descobrir novas causas e novas soluções de reparação;
- Realizar trabalhos similares cujos provetes sejam elaborados com outros materiais como betão ou cerâmica, diferentes dos utilizados neste estudo e nos de Coimbra.



## Referências bibliográficas

- Belgas, L. (2014). Processos Gerais de Construção.
- Costa, J. A., & Melo, A. S. e. (1999). *Dicionário da Língua Portuguesa* (8ª Edição.). Porto Editora.
- Dias, A. B. (2002). “Construção em tijolo cerâmico: das exigências normativas do produto à prática da aplicação” in Lourenço, P.H. & Sousa, H (eds.). In *Seminário sobre paredes de alvenaria* (pp. 41–66).
- Duarte, R. M. M. (2013). *Reparação de Fissuras em Ponte: Contributo Experimental*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra.
- Instruments, N. (2015). National Instruments. Retrieved from <http://www.ni.com/white-paper/3638/en/>
- Oliveira, L. D. C. de. (2012). *Contributo para a Análise Experimental da Técnica de Reabilitação em “Ponte” de Fissuras em Paredes de Alvenaria*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra.
- Póvoa, P. J. C. C. T. (2012). *Estudo da Reabilitação em “Ponte” de Fissuras em Paredes de Alvenaria*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra.
- SIKA. (2015). Argamassas de Reparação Sika. Retrieved from <http://prt.sika.com/>
- Silva, J. (1998). *Fissuração das alvenarias: estudo do comportamento das alvenarias sob acções térmicas*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra.
- Silva, J. (2002). Alvenarias Não Estruturais: Patologias e Estratégias de Reabilitação. In *Seminário sobre Paredes de Alvenaria* (pp. 187–206). Porto.
- Silva, J., & Abrantes, V. (2007). Patologia em Paredes de Alvenaria: Causas e Soluções. In *Seminário sobre Paredes de Alvenaria* (pp. 65–84).
- Silva, J., & Carvalhal, M. J. T. (2003). Reabilitação Geral de Fachada de Alvenaria de Construção Recente, Gravemente Fissurada. Caso de Estudo. *LNEC*, 1365–1374.
- Silva, J., & Vicente, R. da S. (2003). Obsevação, Registo, Controlo e Diagnóstico de Fissuração em Paredes Não Estruturais de Alvenaria. In *1º Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios*. Porto.
- Silva, J., & Vicente, R. da S. (2004). Reabilitação de fachadas: pós-grampeamento e reforço de cunhais. In *2º Congresso Nacional da Construção*. Porto.

- Sousa, H. de. (2002). Alvenarias em Portugal. Situação actual e perspectivas futuras. In *Seminário sobre paredes de Alvenaria* (pp. 17–40). Porto.
- Thomaz, E. (1989). *Trincas em Edifícios: causas, prevenção e recuperação*. IPT/EPUSP/PINI.
- Thomaz, E. (2012). Fissuração de Alvenarias e Deformabilidade de Concreto Armado. In *Seminário FESP*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas.
- TOPECA. (2015). TOPECA. Retrieved from [www.topeca.pt/index.php/pt/products/special/314](http://www.topeca.pt/index.php/pt/products/special/314)
- Vadstrup, S. (2004). *Reparações em Alvenaria e Rebocos*. Raadvad, Centeret - Danmark.
- Valido, A., & Silva, J. D. (1997). *Introdução à extensometria elétrica de resistência*.
- Vasconcelos, P. (1985). Patologia da Construção. In *1º Encontro sobre Reabilitação e Conservação de Edifícios de Habitação*. Lisboa.
- Vicente, R. da S. (2002). *Patologia das Paredes de Fachada: Estudo do comportamento mecânico das paredes de fachada com correcção exterior das pontes térmicas*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra.
- Vicente, R. da S. (2005). Paredes de Alvenaria: Projecto e execução de alvenarias, pontes térmicas, patologias, casos de estudo. Coimbra.
- Vieira, M. A. (2014). *Masonry Wall Cracking: Efficiency and Durability of Repair Strategies and Service Life Requirements for Design*. Aveiro.
- Weber Saint-Gobain. (2015). Weber.tec. Retrieved from <http://www.weber.com.pt/argamassas-tecnicas/solucoes/montagem-e-fixacao/webertec-grout.html>
- WEBER Saint-Gobain. (2015). Weber.tec Grout. Retrieved from <http://www.weber.com.pt/argamassas-tecnicas/solucoes/montagem-e-fixacao/webertec-grout.html>
- Wikipédia. (2015a). Lei de Bragg. Retrieved from [http://pt.wikipedia.org/wiki/Lei\\_de\\_Bragg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Lei_de_Bragg)
- Wikipédia. (2015b). Linear Variable Differential Transformer. Retrieved from <http://pt.wikipedia.org/wiki/LVDT>